

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Análise da Qualidade de Energia de um Parque Eólico com Ligação à Rede Eléctrica**

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Tiago Rafael da Silva Henriques

Dissertação orientada por:

Professora Doutora Ana Isabel Lopes Estanqueiro (FCUL/LNEG)

Engenheiro Luís Carlos Rodrigues Junior (LNEG)

**2016**



## **Agradecimentos**

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos à Prof. Doutora Ana Estanqueiro e ao Engenheiro Luís Rodrigues pela oportunidade de desenvolver este trabalho que se revelou um enorme desafio (em vários campos), mas nem por isso desinteressante.

Deixo assim algumas palavras (poucas, mas sentidas) e um profundo e eterno reconhecimento pelas ajuda prestada e compreensão de situações que, noutras circunstâncias, poderiam não a merecer. Um eterno agradecimento pela partilha de conhecimentos e pelo trabalho, paciência e tempo disponibilizados. A eles, e a toda a restante equipa do LNEG que me acompanhou nesta fase, pela companhia e pela boa disposição.

A todos os meus amigos pelo seu companheirismo e pela presença tanto nos bons momentos, como naqueles menos bons. A todos aqueles que, à sua maneira, fizeram parte do meu percurso académico (e não só!).

A toda a minha família, em especial aos meus pais e irmãos pelo constante apoio e pela oportunidade que me deram de poder realizar os meus estudos. Um agradecimento especial também aos que, mesmo já não estando “entre nós”, continuam a olhar por mim, algures... e que acredito que estivessem orgulhosos.

Um Enorme Muito Obrigado.



## **Abstract**

The integration of a wind farm into an electrical grid may have a direct influence on its own power quality, especially in cases of electrical grids said to be "weak", largely due to the stochastic nature of the wind resource. The power fluctuations provided to the electrical grid - a typical characteristic of this type of technology , mainly resulting from the fluctuation of the primary resource - may cause difficulties to the local power grid operators connected thereto. in case of the proper precautions in the design of these power plants are not taken into account.

With the integration of a growing number of wind farms into the local power grid, potentially impacts on the same will be increasingly significant. Thus, there is a need for a comprehensive and accurate assessment that enables the prediction of the impacts occurrence caused by a wind farm in local power grid so that, on the one hand, this does not damage the power quality where it is connected to and, on the other hand, it does not compromise the proper operation and reliability of the power grid. The IEC 61400-21 - entitled " Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines " - developed by the International Electrotechnical Commission (IEC) fully describes a procedure that ensures consistency and accuracy in the measurement and assessment of the required parameters responsible for the characterization of the power quality parameters that are delivered to the power grid by a wind farm.

The current document has the development of a computational model, based on the methodology of the standard mentioned above, as its main goal. The development of a wind farm connected to an electrical grid is another aim of this document so that it can later be used as a case study for the assessment of power quality, followed by the presentation and discussion of the results.

**Keywords:** Power Quality, Wind Power, Connection to the Electrical Grid, Flicker, Dynamic Models



## Resumo

A integração de um parque eólico numa rede eléctrica pode ter uma influência directa na qualidade da energia dessa mesma rede, sobretudo no caso de redes ditas “fracas”, em grande parte devido à natureza estocástica do recurso eólico. As flutuações na potência entregue à rede - uma consequência característica deste tipo de tecnologia e maioritariamente resultante da flutuação do recurso primário – podem causar dificuldades aos operadores da rede eléctrica local a que o parque eólico se encontra ligado, se as devidas precauções no projecto destas centrais não forem tomadas em conta. Com a integração de um número crescente de parques eólicos na rede eléctrica local, potencialmente os impactos na mesma serão cada vez mais significativos. Desta forma, verifica-se a necessidade de uma avaliação detalhada e precisa que possibilite a previsão da ocorrência dos impactos causados por um parque eólico na rede eléctrica local de modo a que, por um lado, este não degrade a qualidade de energia do local onde se insere e, por outro, a não comprometer a correcta operação e a fiabilidade da rede. A norma IEC 61400-21 - intitulada “Medição e avaliação de características da qualidade de energia de turbinas eólicas ligadas à rede” - desenvolvida pela Comissão Electrotécnica Internacional (IEC) descreve uma metodologia normativa que garante consistência e precisão na medição e avaliação de parâmetros necessários à caracterização da qualidade de energia que é entregue à rede por um parque eólico.

O presente trabalho tem como principal objectivo o desenvolvimento de um modelo computacional, tendo como base a metodologia da norma anteriormente mencionada. O desenvolvimento de um modelo de uma rede eléctrica onde se encontra ligado um parque eólico é um outro objectivo sendo posteriormente utilizado como caso de estudo para a análise da qualidade de energia, seguido da apresentação e discussão dos resultados obtidos.

Palavras-chave: Qualidade de Energia Eléctrica, Energia Eólica, Ligação à Rede Eléctrica, *Flicker*, Modelos Dinâmicos.





# Índice

Abstract.....	i
Resumo .....	iii
Índice .....	v
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Lista de Símbolos.....	xiii
Lista de Siglas e Abreviaturas.....	xiv
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação e Objectivos .....	2
1.3 Estrutura do documento .....	2
2. A Energia Eólica.....	3
2.1 Contextualização Temática.....	3
2.2 Distribuição do Recurso Eólico .....	5
2.3 Curva de Potência .....	7
3. Ligação ao Sistema de Energia Eléctrica .....	9
3.1 O sistema electroprodutor .....	9
3.2 Integração de um parque eólico na rede eléctrica .....	10
4. Qualidade de Energia Eléctrica.....	15
4.1 Introdução conceptual .....	15
4.2 Principais Indicadores - Energia Eólica.....	16
4.2.1 Variações de tensão.....	17
4.2.2 Transitórios .....	17
4.2.3 Harmónicas .....	18
4.2.4 Flicker .....	18
5. O Modelo do Flickermeter.....	21

5.1	Introdução .....	21
5.2	Descrição do Modelo .....	21
6.	Aplicação à Energia Eólica .....	29
6.1	Introdução .....	29
6.2	Variações de Tensão .....	29
6.2.1	Rede Fictícia .....	30
6.2.2	Operação Contínua.....	32
6.2.3	Operação de Comutação .....	34
6.3	Níveis de referência de $P_{st}$ e $P_{lt}$ .....	36
7.	O Modelo desenvolvido para avaliação da QEE.....	39
7.1	Exposição geral.....	39
7.2	Princípio de funcionamento do modelo .....	40
7.3	Validação do Modelo Desenvolvido .....	49
8.	Caso de Estudo e Análise de Resultados .....	53
8.1	Introdução .....	53
8.2	Modelo dinâmico da Ligação do Parque Eólico à Rede Eléctrica .....	53
8.3	Avaliação da QEE - Emissão de <i>flicker</i> .....	56
8.3.1	Cenário 1 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 24$ .....	57
8.3.2	Cenário 2 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 12$ .....	60
8.3.3	Cenário 3 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 8$ .....	62
8.4	Análise e discussão dos resultados.....	63
9.	Conclusões e Trabalho Futuro .....	66
10.	Bibliografia .....	68
	Anexo I. Conceitos básicos de transmissão de energia eléctrica .....	73
	Anexo II. Modelo Flickermeter e Cálculo de RMS .....	75
	Anexo III. Testes de validação do Flickermeter IEC 61000-4-15 .....	77
	a) Modulação Sinusoidal – Indicador $P_{inst}$ .....	77
	b) Modulação Rectangular – Indicador $P_{inst}$ .....	79

c) Modulação Rectangular – Indicador $P_{st}$ .....	81
Anexo IV. Elementos do Modelo do Parque Eólico ligado à Rede Eléctrica .....	83
Anexo V. Operação Contínua: Análise Estatística .....	84
Anexo VI. Operação de Comutação: Factores de flicker, $k_f(\psi_k)$ , de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$ , obtidos .....	122



## Índice de Figuras

Figura 2.1– Evolução anual da capacidade acumulada instalada de energia eólica no mundo [1] .....	4
Figura 2.2 - Parques eólicos <i>onshore</i> (Roménia) e <i>offshore</i> (Reino Unido) [11] [12].....	4
Figura 2.3 - Distribuição mundial da velocidade do vento a 80 m de altura .....	5
Figura 2.4 – Fluxo de Potência [ $\text{W/m}^2$ ] em função da velocidade do vento [5] .....	6
Figura 2.5 - Curva de Potência de uma turbina eólica (1 p.u. corresponde à potência nominal).....	7
Figura 2.6 – Registo de dados de velocidade de vento: série temporal de 500 segundos .....	8
Figura 3.1 – Diagrama de uma rede eléctrica típica – adaptado de [18].....	9
Figura 3.2 – Caracterização geral da integração de uma turbina eólica a uma rede eléctrica de MT ...	10
Figura 3.3 - Exemplificação das variáveis presentes na interligação de um parque eólico à rede.....	11
Figura 3.4 - Agregação de potência: impacto da distribuição geográfica e da adição de turbinas eólicas na produção eléctrica .....	12
Figura 3.5 - Regras práticas em função do valor de Rsc na avaliação do perfil de tensões [23] .....	13
Figura 4.1 - Tensão e corrente para um sistema eléctrico com cargas lineares. ....	15
Figura 4.2 - Problemas de QEE – adaptado de [24].....	16
Figura 4.3 - Classificação dos principais fenómenos que influenciam a QEE .....	17
Figura 4.4 – Oscilação da corrente instantânea, consequência da ligação de condensadores durante a sequência de arranque de uma turbina eólica de 225 kW [26] .....	18
Figura 5.1 – Diagrama funcional do <i>Flickermeter</i> de acordo com a norma IEC 61000-4-15 [33].....	22
Figura 5.2 - Representação na frequência do filtro passa-baixo do Bloco 1.....	23
Figura 5.3 - Representação na frequência do filtro passa-banda - Bloco 3 (sistemas: 230V e 120V)..	25
Figura 5.4 - Representação na frequência do filtro passa-baixo do Bloco 4.....	26
Figura 6.1 - Rede Fictícia para simulação da tensão fictícia, $u_{fic}(t)$ . ....	30
Figura 6.2 - Esquema para a medição e avaliação do <i>flicker</i> de um aerogerador em operação contínua .....	32
Figura 6.3 - Esquema para a medição e avaliação do flicker de um aerogerador em operação de comutação .....	35
Figura 7.1 - Fluxograma da função principal <i>flicker_assessment.m</i> .....	41

Figura 7.2 – Exemplificação dos alertas obtidos com a introdução de valores não desejados .....	42
Figura 7.3 – Organização dos dados do ficheiro <i>WT1_PQVI_S24.dat</i> .....	42
Figura 7.4 – Fluxograma da função <i>grid_parameters.m</i> .....	43
Figura 7.5 – Fluxograma da função <i>fictitious_grid.m</i> .....	44
Figura 7.6 – Fluxograma da função <i>flickermeter_rmsmeter.m</i> .....	45
Figura 7.7 – Fluxograma da função <i>flickermeter_rmsmeter.m</i> (continuação) .....	46
Figura 7.8 - Sinal de saída do bloco 4, $P_{inst}$ . Exemplificação da obtenção dos dados deste sinal considerados para a análise estatística .....	47
Figura 7.9 – Fluxograma da função <i>block5.m</i> .....	47
Figura 7.10 –Fluxograma da função <i>wind_mean.m</i> .....	48
Figura 7.11 – Fluxograma da função <i>flicker_coeff.m</i> .....	49
Figura 7.12 – Resultados dos testes de validação para variações de tensão sinusoidais. Sistemas de 230V/50Hz e 120V/60Hz. ....	51
Figura 7.13 – Resultados do teste de validação para o indicador $P_{st}$ , para lâmpadas de 230 e 120V em sistemas de 50 e 60 Hz, respectivamente. ....	52
Figura 8.1 – Esquema da do modelo de ligação do parque eólico à rede eléctrica.....	53
Figura 8.2 – Ilustração geral do modelo desenvolvido do parque eólico ligado à rede eléctrica.....	54
Figura 8.3 – Séries de vento e respectivas potências activa obtidas. ....	55
Figura 8.4 – Coeficiente de Performance da turbina eólica utilizada em função da velocidade de vento – adaptado de [40].....	55
Figura 8.5 – Coeficientes de flicker $c(\psi_k)$ em função da respectiva velocidade média de vento para os 4 diferentes ângulos de impedância de curto-circuito ( $\psi_k$ ). Cenário 1 – $R_{sc} = 24$ .....	57
Figura I.1 – Evolução da potência, tensão e corrente em função do tempo.....	73
Figura I.2 - a) Sistema trifásico. b) Diagrama vectorial. c) Tensões $U_1$ e $U_2$ em ambos os lados de uma impedância $Z$ com corrente $I$ .....	74
Figura IV.1 – Representação da ligação e disposição das turbinas eólicas do bloco “ <i>Wind Farm (12 x 2MW)</i> ” do modelo apresentado na Figura 8.2.....	83

## Índice de Tabelas

Tabela 5.1 - Valores indicativos dos parâmetros das duas lâmpadas.....	24
Tabela 6.1 – Valores indicativos dos níveis de compatibilidade, planeamento e emissão <i>flicker</i> [39]	37
Tabela 7.1 - Apresentação sumária da função principal .....	40
Tabela 7.2 - Apresentação sumária da função <i>grid_parameters.m</i> .....	43
Tabela 7.3 - Apresentação sumária da função <i>fictitious_grid.m</i> .....	44
Tabela 7.4 - Apresentação sumária da função <i>flickermeter_rmsmeter.m</i> .....	45
Tabela 7.5 - Apresentação sumária da função <i>block5.m</i> .....	47
Tabela 7.6 - Apresentação sumária da função <i>wind_mean.m.m</i> .....	48
Tabela 7.7 - Apresentação sumária da função <i>flicker_coeff.m</i> .....	48
Tabela 7.8 – Valores de modulação $f_m$ e $a_m$ que garantem um valor unitário para a sensação máxima de <i>flicker</i> ( $P_{inst}$ ) para os testes de variação de tensão com onda moduladora sinusoidal.....	50
Tabela 7.9 – Valores utilizados no teste de validação do modelo <i>flickermeter</i> , para uma lâmpada de 230V num sistema eléctrico de 50 Hz, e de uma lâmpada de 120V num sistema de 60Hz.....	51
Tabela 8.1 – Cenários analisados neste trabalho.....	56
Tabela 8.2 – Número de operações de comutação a utilizar.....	56
Tabela 8.3 – Valores nominais da turbina eólica utilizada .....	57
Tabela 8.4 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ , $\psi_k = 30^\circ$ ).....	58
Tabela 8.5 – Factores de flicker e de variação de tensão para $\psi_k = 30^\circ$ e $R_{sc} = 24$ .....	58
Tabela 8.6 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para $R_{sc} = 24$ .....	59
Tabela 8.7 – Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação contínua para $R_{sc} = 24$ .....	60
Tabela 8.8 - Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação de comutação para $R_{sc} = 24$ .....	60
Tabela 8.9 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para $R_{sc} = 12$ .....	61
Tabela 8.10 – Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação contínua para $R_{sc} = 12$ .....	61
Tabela 8.11 - Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação de comutação para $R_{sc} = 12$ .....	62
Tabela 8.12 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para $R_{sc} = 8$ .....	62
Tabela 8.11 – Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação contínua para $R_{sc} = 8$ .....	63
Tabela 8.14 - Valores de $P_{st}$ e $P_{st\Sigma}$ obtidos, em operação de comutação para $R_{sc} = 8$ .....	63

Tabela III.1 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/50Hz .....	77
Tabela III.2 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/60Hz .....	77
Tabela III.3 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/50Hz .....	78
Tabela III.4 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/60Hz .....	78
Tabela III.5 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/50Hz .....	79
Tabela III.6 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/60Hz .....	79
Tabela III.7 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/50Hz .....	80
Tabela III.8 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/60Hz .....	80
Tabela III.9 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V a 50 e 60 Hz .....	81
Tabela III.10 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V a 50 e 60 Hz .....	81
Tabela V.1 - Número de medidas realizadas, frequência relativa e frequências de ocorrência .....	84
Tabela V.2 – Factores de ponderação em função da velocidade de vento anual .....	84
Tabela V.3 - Soma dos produtos dos factores de ponderação pelo número de medidas efectuadas.....	84
Tabela V.4 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 24, \psi_k = 30^\circ$ ) .....	86
Tabela V.5 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 24, \psi_k = 50^\circ$ ) .....	89
Tabela V.6 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 24, \psi_k = 70^\circ$ ) .....	92
Tabela V.7 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 24, \psi_k = 85^\circ$ ) .....	95
Tabela V.8 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 12, \psi_k = 30^\circ$ ) .....	98
Tabela V.9 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 12, \psi_k = 50^\circ$ ) .....	101
Tabela V.10 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 12, \psi_k = 70^\circ$ ) .....	104
Tabela V.11 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 12, \psi_k = 85^\circ$ ) .....	107
Tabela V.12 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 8, \psi_k = 30^\circ$ ) .....	110
Tabela V.13 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 8, \psi_k = 50^\circ$ ) .....	113
Tabela V.14 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 8, \psi_k = 70^\circ$ ) .....	116
Tabela V.15 – Distribuição acumulada dos coeficientes de <i>flicker</i> ( $R_{sc} = 8, \psi_k = 85^\circ$ ) .....	119



## Lista de Símbolos

$\psi_k$	Ângulo de impedância de curto-circuito
$P_n$	Potência nominal da Turbina Eólica
$U_n$	Tensão aos terminais da Turbina Eólica
$\varphi$	Desfasamento entre tensão e corrente
$C_p$	Coeficiente de performance
$L_{fic}$	Indutância da rede fictícia
$P_{inst}$	Sensação instantânea de <i>flicker</i>
$P_{lt}$	Factor de <i>flicker</i> de longo prazo
$P_{st}$	Factor de <i>flicker</i> de curto prazo
$R_{fic}$	Resistência da rede fictícia
$T_s$	Período de amostragem/de aquisição de dados
$a_m$	Amplitude de modulação
$f_m$	Frequência de modulação
$i_m(t)$	Corrente medida aos terminais da turbina eólica
$k_f(\psi_k)$	Factor de <i>flicker</i>
$k_u(\psi_k)$	Factor de variação de tensão
$u_0(t)$	Fonte de tensão ideal simples
$u_{fic}(t)$	Tensão simples da rede fictícia
$u_m(t)$	Tensão medida aos terminais da turbina eólica
$v_a$	Velocidade de vento média anual
$v_n$	Velocidade de vento nominal da turbina eólica
$v_{cut-in}$	Velocidade de arranque da turbina eólica
$R_{sc}$	Razão de curto-circuito
$\alpha_m(t)$	Ângulo eléctrico da componente fundamental medida
$c(\psi_k)$	Coeficiente de <i>flicker</i>
$c(\psi_k, va)$	Coeficiente de <i>flicker</i> para operação contínua
$f(t)$	Frequência
$R_{fic}$	Componente resistiva da rede fictícia
$X_{fic}$	Componente indutiva da rede fictícia

## Lista de Siglas e Abreviaturas

AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
DFIG	<i>Double Fed Induction Generator</i> , ou Gerador de Indução Duplamente Alimentado
EE	Energia Eólica
GWEC	<i>Global Wind Energy Council</i> , ou Conselho Global de Energia Eólica
IEA	<i>International Energy Association</i> , ou Associação Internacional de Energia
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> , ou Comissão Electrotécnica Internacional
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , ou Instituto de Engenheiros de Eletrotécnica e Electrónica
LCOE	<i>Levelised Cost of Energy</i> , ou Custo de actualizado da produção energia
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
PCC	<i>Point of Common Coupling</i> , ou Ponto de Acoplamento Comum
QEE	Qualidade de Energia Eléctrica
RMS	<i>Root Mean Square</i> , ou Valor Eficaz
SEE	Sistema de Energia Eléctrica

## 1. Introdução

### 1.1 Enquadramento

A crescente necessidade de energia e de melhoramento da segurança energética – passando pela descentralização e diversificação de fontes de produção de energia na matriz energética – aliada a uma consciencialização global para os problemas ambientais conduziram a uma intensa corrida às energias renováveis. O desenvolvimento das mesmas desempenha um papel fundamental no processo de transição para a utilização de energia livre de emissões de  $CO_2$ , a nível global. Uma das fontes de energia renovável mais populares é a energia eólica. No decorrer das últimas décadas, a capacidade instalada de energia eólica tem crescido a uma velocidade sem registo igual no passado [1]. Contudo, esta situação de transição energética apresenta alguns desafios, em especial no que diz respeito à interacção da mesma com a rede eléctrica.

Uma das características associadas à energia eólica é a variabilidade do seu recurso, o vento. Como consequência resultante da flutuação deste recurso, as flutuações na potência geradas e posteriormente entregues à rede a que o parque está ligado podem causar dificuldades na operação da mesma. É comum recorrer ao termo “qualidade de energia eléctrica” (QEE) para qualificar o impacto de tais perturbações. A integração de um parque eólico numa rede eléctrica tem uma influência bastante específica na qualidade da energia dessa mesma rede, em grande parte devido à natureza aleatória do recurso eólico. No passado, a capacidade total instalada correspondia a uma modesta fracção do sistema de energia e a ligação de um parque eólico à rede não levantava grandes preocupações. Porém, assistindo ao contínuo aumento do tamanho e potência dos aerogeradores e, consequentemente, à integração na rede eléctrica de novos parques eólicos com uma capacidade superior, essas preocupações deixaram de ser irrelevantes e as perturbações na mesma são cada vez mais significativos. Em locais com redes eléctricas mais fracas, essas perturbações são ainda maiores e as preocupações acrescem. Dentro dos parâmetros subjacentes à qualidade de energia destaca-se a qualidade de tensão.

A injeção de energia eólica numa rede eléctrica provoca as variações de tensão e para cumprir os requisitos da rede a que os aerogeradores estão ligados, as variações de tensão devem de estar dentro de certos limites previamente estipulados pelo concessionário da rede [2]. Deste modo, é evidente a necessidade de resolver - ou mitigar e controlar - os problemas associados à manutenção de um sistema de energia eléctrica estável, ao qual estão ligadas inúmeras outras centrais produtoras de electricidade com diferentes fontes primárias de energia - tais como as térmicas (carvão, gás ou nuclear), hidroeléctricas ou centrais solares [3]. As perturbações que os aerogeradores podem causar na rede eléctrica de distribuição devem ser avaliados numa fase prévia à sua instalação e, para tal, é necessário o conhecimento das características eléctricas tanto dos aerogeradores como da rede eléctrica em questão. Doutra forma, o resultado pode facilmente resultar num projecto inadequado de ligação à rede.

As características eléctricas de turbinas eólicas são, na grande generalidade dos casos, especificadas pelos fabricantes mas não especificadas para uma rede específica onde a ligação ao parque eólico tomará lugar. Isto significa que, é necessário efectuar estudos prévios antes da ligação do parque eólico à rede.

## 1.2 Motivação e Objectivos

É notória a necessidade de uma avaliação detalhada e rigorosa que possibilite a previsão da ocorrência das perturbações causadas por um parque eólico numa rede eléctrica. Por um lado, por forma não degradar a qualidade de energia local e, por outro, a não comprometer a estabilidade e a fiabilidade da rede. Conhecendo os parâmetros característicos de uma turbina eólica e de uma eventual rede eléctrica de um local específico, é possível calcular o impacto esperado da turbina eólica - ou grupo de turbinas - na qualidade de tensão dessa mesma rede eléctrica. Entre os diversos parâmetros adjacentes ao tema da qualidade de energia eléctrica aquele que se pretende estudar é o fenómeno associado à ocorrência de flutuações rápidas de tensão, designado por *flicker*.

O objectivo deste trabalho passará pelo desenvolvimento de uma ferramenta prática em conformidade com a metodologia internacionalmente reconhecida para a medição e avaliação do fenómeno de *flicker* que é entregue à rede por um parque eólico (nas diversas fases de operação do mesmo).

No presente trabalho é também pretendido apresentar um caso de estudo que permita pôr em prática o modelo acima referido por forma a verificar a aplicabilidade do mesmo. Para tal pretende-se desenvolver um modelo típico de um parque eólico ligado a uma rede eléctrica, sobre o qual reincidirá este caso de estudo.

## 1.3 Estrutura do documento

No primeiro capítulo são introduzidos o ponto de situação e a estruturação do trabalho a apresentar nas próximas secções. É abordado, no segundo capítulo, o tema da energia eólica, numa visão mais geral sobre o sector da energia eólica e respectiva evolução no mundo nestes últimos anos. O terceiro capítulo é dedicado à informação concernente à integração da energia eólica na rede eléctrica e no quarto capítulo são referidos os principais factores que contribuem para a qualidade de energia eléctrica entregue à rede eléctrica, em particular pela energia eólica.

No quinto e no sexto capítulos são apresentadas, respectivamente, as normas IEC 61000-4-15 e IEC 61400-21 - literatura internacionalmente reconhecida e recomendada para o desenvolvimento do modelo necessário para efectuar a medição do factor de *flicker* emitido por um aerogerador ligado à rede. O sétimo capítulo contempla, assim, o modelo desenvolvido pelo autor. A sua aplicação, recorrendo a um caso de estudo com múltiplos cenários, é o conteúdo do oitavo capítulo. Neste vigora ainda a discussão dos resultados obtidos. As conclusões a retirar dos resultados obtidos são matéria para o nono capítulo deste documento e no décimo - e último capítulo - pode ser consultadas as referências nas quais o autor se baseou para a realização deste documento.

## 2. A Energia Eólica

### 2.1 Contextualização Temática

A utilização da Energia Eólica (EE) por parte dos seres humanos começou há centenas de anos atrás, muito antes das turbinas eólicas modernas terem sido desenvolvidas para a produção de electricidade. Desde tempos antigos que a energia do vento tem sido reconhecida e utilizada como um recurso valioso para diferentes finalidades, tais como, para o movimento de barcos à vela ou na utilização de moinhos de vento para moagem de grãos e bombeamento de água. Tal reconhecimento foi possível graças às características intrínsecas do vento, uma vez que é uma fonte de energia inesgotável, com disponibilidade a custo zero e limpa [4].

No que diz respeito à produção de electricidade, a energia eólica tem registado um importantíssimo desenvolvimento, com uma visibilidade mais acentuada nas últimas duas décadas. Este progresso foi motivado, por um lado, pela crise do petróleo de 1970 que levou à necessidade de ampliar a diversidade e a segurança no fornecimento de energia e de reduzir a independência externa energética de algumas nações. Por outro lado, a pressão global de para a protecção do ambiente estimulou o interesse pelo uso de energias alternativas, nas quais a energia eólica se encaixa e se tem destacado entre as restantes [5].

No ano de 2010, o custo de produção de electricidade (LCOE<sup>1</sup>) por turbinas eólicas mais recentes era já de, aproximadamente, 0.042 €/kWh a 0.071 €/kWh. Valores bastantes competitivos uma vez comparados, por exemplo, com a electricidade produzida por centrais térmicas, tais como a carvão e a gás, cujos LCOEs eram de 0.056 €/kWh e 0.046 €/kWh<sup>2</sup>, respectivamente [6]. Esta capacidade em colocar no mercado energia a preços competitivos, permitindo ganhar quotas de mercado na venda de energia, assim como a redução do custo de produção por MW das turbinas eólicas associada às diversas políticas de incentivos às renováveis são umas das razões para o reconhecido interesse na aposta global nesta fonte de energia.

A mesma é, actualmente, uma das fontes de energia renovável com maior peso no sistema electroprodutor um pouco por todo o mundo, contando já com cerca de 370 GW de capacidade global instalada até ao final do ano de 2014 (Figura 2.1). Dados do GWEC<sup>3</sup> mostram que países como a China, os Estados Unidos e a Alemanha são os que mais se destacam em termos de capacidade instalada, com cerca de 114 GW, 66 GW e 39 GW, respectivamente [1].

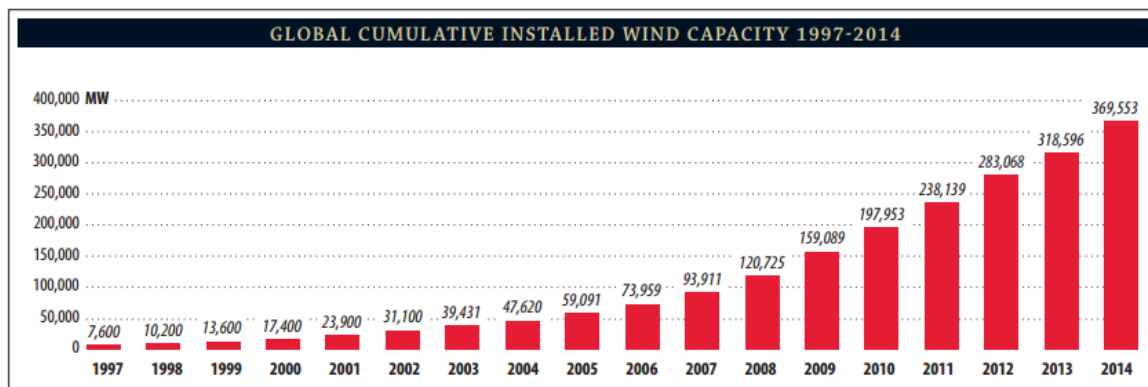
---

<sup>1</sup> LCOE – sigla do termo anglo-saxónico *Levelised Cost Of Electricity*.

<sup>2</sup> Os valores apresentados foram obtidos recorrendo à taxa de câmbio de USD/EUR = 1.20 [43].

<sup>3</sup> GWEC – sigla do termo anglo-saxónico *Global Wind Energy Council*

A capacidade instalada total é responsável por cerca de 4% da oferta global de electricidade em todo o mundo. Segundo dados do WWEA<sup>4</sup>, na Europa a penetração da mesma no sistema electroprodutor tem uma participação bem superior à média mundial, com uma participação bem maior em países como a Dinamarca (34%), Espanha (20%) e Portugal (20%) [7].



**Figura 2.1– Evolução anual da capacidade acumulada instalada de energia eólica no mundo [1]**

A título de exemplo, os Estados Unidos estabeleceram a meta de 20% de penetração de energia eólica até 2030 e a Europa a meta de 20% de penetração de electricidade por fontes renováveis no sistema electroprodutor até 2020 [8] [9]. A nível global, previsões apontam para o aumento desta mesma capacidade no decorrer desta década a um crescimento que, embora a um ritmo não tão acelerado, se espera que seja ainda bastante significativo, por forma a também alcançar tais objectivos [10]. Os parques eólicos são divididos em duas categorias: *onshore* e *offshore*, quer se localizem em terra ou em mar, respectivamente, sendo que estes últimos são de um interesse geral bem mais recente. É apresentado na Figura 2.2 os exemplos de dois parques eólicos - um para cada categoria - para efeitos meramente ilustrativos.

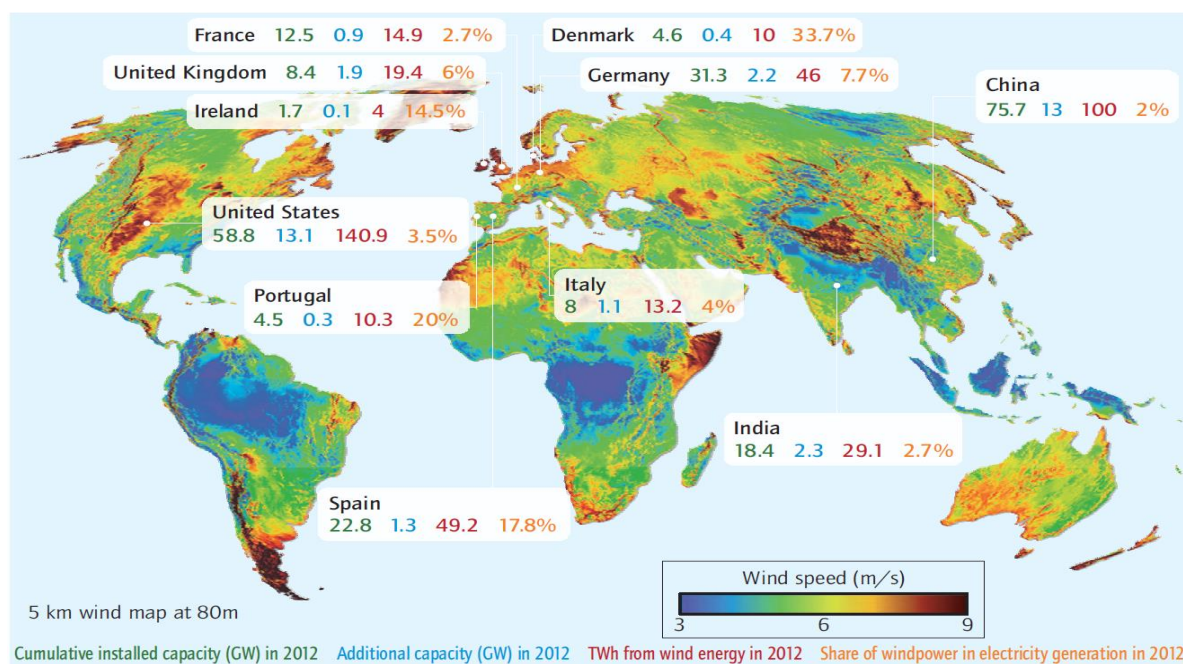


**Figura 2.2 - Parques eólicos *onshore* (Roménia) e *offshore* (Reino Unido) [11] [12]**

<sup>4</sup> WWEA – sigla do termo anglo-saxónico *World Wind Energy Association*

## 2.2 Distribuição do Recurso Eólico

Por forma a determinar a energia disponível no vento, é necessário de ter conhecimento de como este recurso difere de região para região. Antes de se proceder à medição dos dados de vento (velocidade e direcção) e a um estudo mais detalhado relativamente a um dado local, é bastante vantajoso poder dispor já de alguns indicadores da velocidade do vento nesse mesmo local. É assim costume recorrer-se a mapas da velocidade do vento, cujos valores de velocidade do vento têm em conta parâmetros como a altitude, a topografia e as características de superfície. Estes modelos têm que ser ajustados fazendo uso de dados climatológicos disponíveis a partir de estações meteorológicas de medição ou de dados de satélite. O recurso eólico de uma certa área é geralmente expresso em termos da velocidade do vento ou pela densidade de energia [13]. Na Figura 2.3 é apresentado um mapa da velocidade de vento (à altura de 80 metros). Com a consulta de mapas como este é possível avaliar quais os melhores locais para o aproveitamento eólico, uma vez que permite uma melhor compreensão da distribuição deste mesmo recurso - neste caso particular, ao longo do planeta [14].



**Figura 2.3 - Distribuição mundial da velocidade do vento a 80 m de altura**

Uma observação atenta a este mapa permite averiguar que o recurso eólico é, genericamente, superior nos países do Norte da Europa, como a Inglaterra, Dinamarca ou Noruega, em comparação, por exemplo, com os países mais a Sul, como Portugal, Espanha ou Grécia.

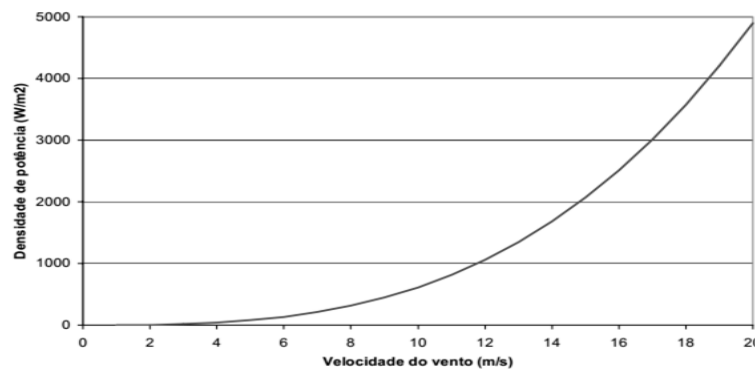
É com o recurso a aerogeradores que a potência disponível do vento é convertida em potência eléctrica. O rotor, normalmente constituído por 3 pás, roda beneficiando da actuação das forças do vento (força de sustentação e de arrasto) na superfície das pás. Através de um veio mecânico de transmissão, o rotor transfere assim a potência mecânica obtida (binário) através dos restantes componentes chegando assim

ao gerador eléctrico [15]. A potência disponível no vento,  $P_{disp}$ , (quantidade de energia que o vento transfere para o rotor) é dada pela equação:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \times \rho \times A_r \times v^3 \quad (2.1)$$

onde,  $P_{disp}$  depende essencialmente de três factores [5] [15]:

- Densidade do ar ( $\rho$ ) - a energia cinética de um corpo é directamente proporcional à sua massa. Assim, a energia cinética do vento é tanto maior quanto maior for a densidade do ar, isto é., da sua massa por unidade de volume. Em condições de pressão atmosférica e temperatura normais a densidade do ar é de 1.225 kg/m<sup>3</sup>.
- Área do rotor ( $A_r$ ) - a área de varrimento das pás do rotor determina a quantidade de energia que um aerogerador é capaz de captar. Dado que a área do rotor aumenta com o quadrado do raio, um aerogerador 2 vezes maior consegue captar 4 vezes mais energia;
- Velocidade do vento ( $v$ ) - a potência disponível é directamente proporcional ao cubo da velocidade do vento, tal como a Figura 2.4 pretende também ilustrar. Logo, um aumento de 10% na velocidade do vento implica um aumento de 30% na energia disponível a partir do mesmo.



**Figura 2.4 – Fluxo de Potência [W/m<sup>2</sup>] em função da velocidade do vento [5]**

No entanto, a equação (2.1) indica a potência disponível no vento de um dado local na inexistência de um aerogerador. A adição de um parâmetro relativo à eficiência técnica do aerogerador na capacidade de conversão da potência disponível do vento em energia mecânica, uma vez que um aerogerador não consegue converter a totalidade da potência do vento disponível em potência mecânica no veio da turbina. Esse parâmetro é denominado por coeficiente de potência ( $C_p$ ). A aplicação de conceitos da área da mecânica de fluídos, mostra a existência de um valor máximo teórico para o coeficiente de potência conhecido por limite de Betz<sup>5</sup>, sendo esse valor 59%, aproximadamente.

<sup>5</sup> Valor exacto do limite de Betz =  $16/27 \approx 59.3\%$



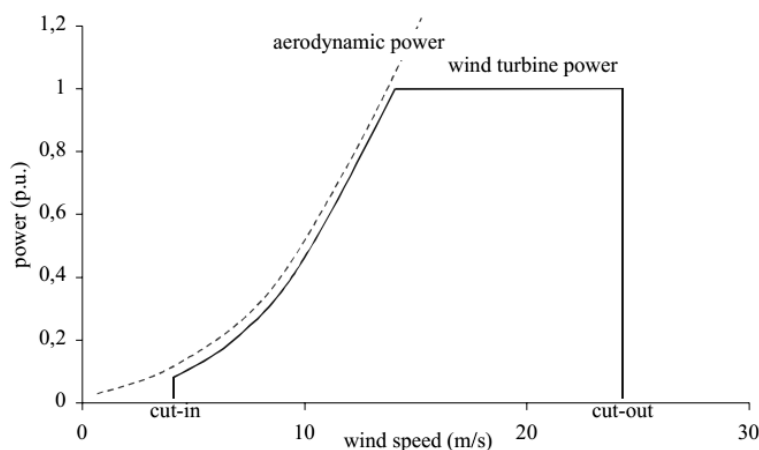
A potência mecânica de um aerogerador pode ser assim calculada através da seguinte equação [5]:

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_p \times A_r \times v^3 \quad (2.2)$$

Na presença de um aerogerador ideal, a potência disponível no vento aproveitada seria apenas 59%. No entanto, o valor da potência extraída por um aerogerador real é ainda menor. Depois de contabilizadas as perdas de energia próprias do aerogerador e o rendimento aerodinâmico das pás, a parcela de potência transferida pelo vento que é realmente aproveitada situa-se entre os 20% e 30% da mesma [5].

## 2.3 Curva de Potência

Uma turbina eólica é projectada para atingir uma potência máxima (potência nominal) a uma determinada velocidade de vento (velocidade nominal). Esta velocidade é ajustada de acordo com o perfil de vento do local específico, sendo habitual situar-se entre os 11 e 16 m/s. Uma das características próprias de uma turbina eólica é a sua curva de potência. Esta indica a potência eléctrica produzida por um aerogerador a diferentes velocidades de vento. Um exemplo de uma curva de potência é mostrado em baixo pela Figura 2.5. A potência gerada a velocidades muito baixas é, também ela, demasiado baixa e insuficiente para ser aproveitada para geração eléctrica. Assim, e dependendo do local, as turbinas eólicas só iniciam a produção a partir de certas velocidades de vento, na generalidade dos casos, acima de 3-4 m/s. Esta velocidade é designada por velocidade de arranque ( $v_{cut-in}$ )<sup>6</sup>.



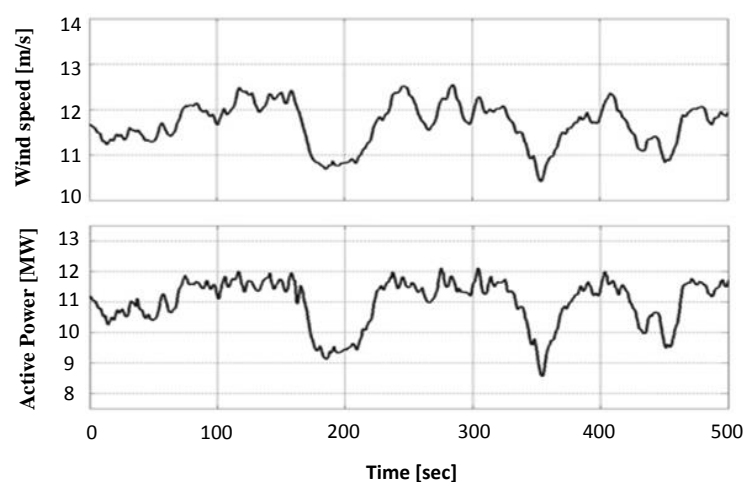
**Figura 2.5 - Curva de Potência de uma turbina eólica (1 p.u. corresponde à potência nominal)**

Por sua vez, e por questões de segurança, a velocidades demasiado elevadas (geralmente acima dos 25 m/s<sup>7</sup>) a turbina eólica é desligada e a sua produção interrompida, visto haver o risco de a mesma se poder danificar.

<sup>6</sup> Vulgarmente conhecido pelo termo anglo-saxónico *Cut-in wind speed*

<sup>7</sup> Vulgarmente conhecido pelo termo anglo-saxónico *Cut-out wind speed*

Na Figura 2.6 é apresentada uma série temporal de vento, com velocidade média de cerca de 11,5 m/s, e a produção de potência obtida através da mesma por um eventual parque eólico [16]. Através da análise desta figura, é possível constatar a forte correlação entre as flutuações da velocidade do vento e as flutuações de potência gerada desse mesmo parque eólico, tratando-se de um dos factores com maior influência na extracção de potência de uma turbina eólica, variando numa razão directamente proporcional, como mencionado anteriormente e apresentado através da equação (2.2).



**Figura 2.6 – Registo de dados de velocidade de vento: série temporal de 500 segundos**

Tais flutuações resultam em perturbações que são induzidas na rede eléctrica local, podendo mesmo propagarem-se por redes eléctricas adjacentes. Caso não se encontrem dentro de limites previamente estabelecidos pelo operador da rede eléctrica a que o parque eólico se encontra ligado, podem impedir o correcto funcionamento dessa mesma rede eléctrica, afectando a qualidade de energia eléctrica local. Tratando-se assim de um tema relevante, o estudo da ocorrência de diversos fenómenos característicos para a entrega de uma “boa” energia eléctrica permite conhecer o comportamento e o possível resultado dessas perturbações na rede. Esses mesmos fenómenos são apresentados nos capítulos que se seguem.

### 3. Ligação ao Sistema de Energia Eléctrica

#### 3.1 O sistema electroprodutor

Um sistema electroprodutor ou sistema de energia eléctrica (SEE) é o termo utilizado quando se pretende mencionar o complexo sector da energia eléctrica como um todo. É o SEE que executa as operações relativas à conversão da energia disponível de uma determinada fonte em energia eléctrica, através das unidades de produção. Em seguida, e por meio das redes eléctricas de transmissão e distribuição, efectua, respectivamente, o transporte e distribuição da mesma até a eventuais pontos de utilização - seja tanto para consumo como para armazenamento (Figura 3.1). O SEE funciona continuamente, desempenhando assim uma função vital para a sociedade moderna [17].

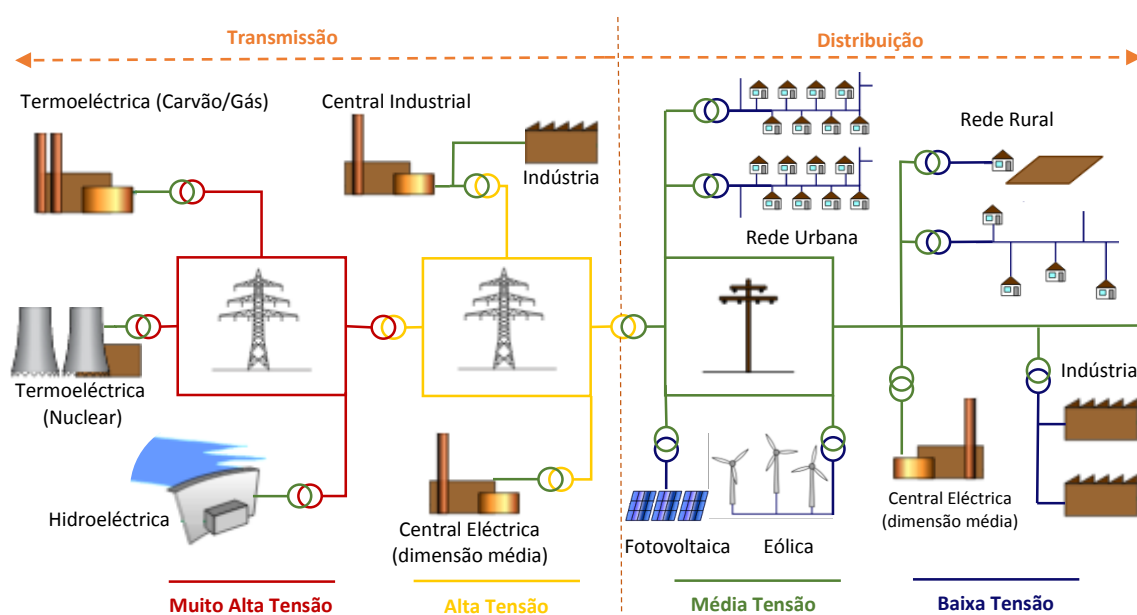


Figura 3.1 – Diagrama de uma rede eléctrica típica – adaptado de [18]

A rede eléctrica é responsável por unir os elementos do SEE. É constituída por Postos de Transformação e Subestações (que reduzem ou elevam a tensão para vários níveis ao longo de toda a rede e conforme a utilização pretendida) e Linhas de Transmissão e de Distribuição de energia eléctrica, podendo as mesmas ser diferenciadas em [19]:

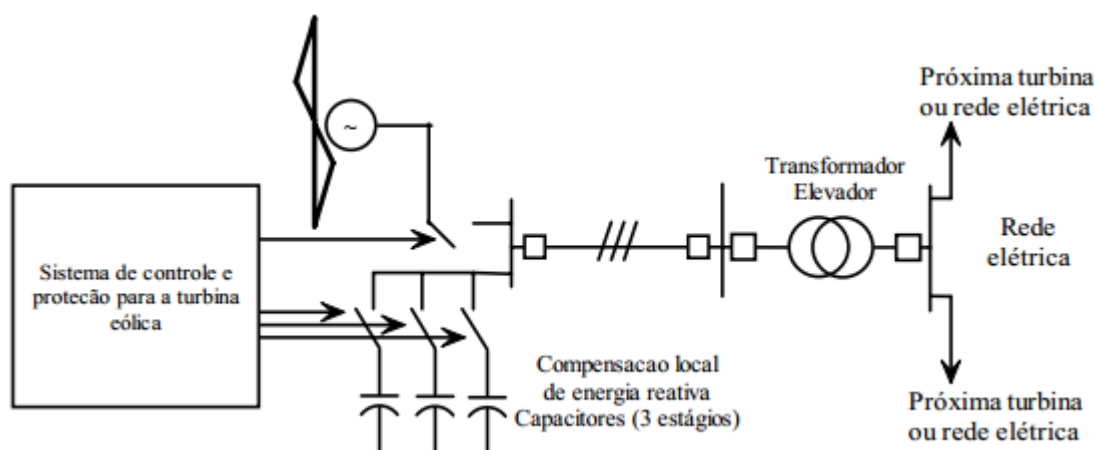
- Linhas de Muito Alta Tensão (MAT) - unem os centros produtores às subestações ou entre várias subestações. A tensão nominal é igual ou superior a 150 kV. Em Portugal, as mais comuns são de 150, 220 e 400 kV;
- Linhas de Alta Tensão (AT) - a tensão nominal é igual ou superior a 60 kV;
- Linhas de Média Tensão (MT) - ligam os centros produtores descentralizados a subestações e, de seguida, aos Postos de Transformação; ligam também diferentes Pontos de Transformação entre si. A tensão nominal é inferior a 60 kV, sendo as mais comuns de 10, 15 e 30 kV;

- Linhas de Baixa Tensão (BT) - levam a energia eléctrica dos Postos de Transformação, ao longo das ruas e caminhos até aos locais onde é consumida em Baixa tensão: 230 V entre fase e neutro e 400 V entre fases. O valor da tensão nominal é inferior a 1000 V.

### 3.2 Integração de um parque eólico na rede eléctrica

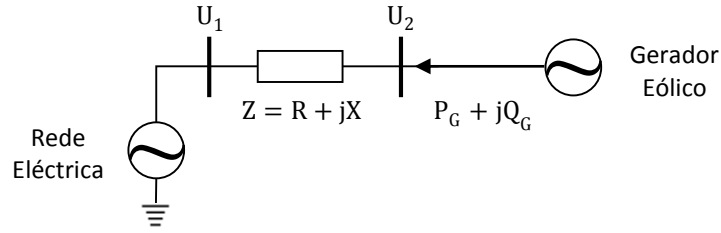
Uma vez que a energia eólica se trata de uma fonte de energia descentralizada, é provável que a geração se encontre no fim dos extremos da rede de distribuição sendo assim ligada à rede de MT ou AT, entre os 15 kV e os 60 kV, ao contrário das centrais convencionais onde a ligação é feita ao nível da MAT entre os 150 kV e os 400 kV [15]. O nível de tensão a ser adoptado na instalação de centrais eólicas depende fundamentalmente do nível de potência e da disponibilidade do sistema eléctrico local. Este nível deve ainda ser determinado e acordado com o concessionário da rede eléctrica. A geração de electricidade por aerogeradores é, em geral, efectuada em baixa tensão (380V a 690V) sendo bastante importante o uso de um transformador elevador para integração final dos mesmos na rede eléctrica [20].

Na Figura 3.2 é apresentado um esquema da caracterização de integração eléctrica de uma turbina eólica à rede eléctrica. As centrais eólicas são constituídas por uma ou mais turbinas agrupadas num dado local sob um mesmo ramal de ligação. Algumas particularidades a ter em conta na ligação das mesmas à rede vão desde a necessidade de compensação de reactiva, a factores de cancelamento de picos de potência e ao uso de subestações especiais (com transformador elevador e sistema de regulação de tensão) [20].



**Figura 3.2 – Caracterização geral da integração de uma turbina eólica a uma rede eléctrica de MT**

Um problema simples da interligação de um parque eólico à rede eléctrica de distribuição é apresentado na Figura 3.3. Pretende-se com este exemplo apresentar as implicações resultantes da interligação do mesmo a uma rede eléctrica no que diz respeito a variações de tensão, recorrendo aos conceitos básicos de electricidade apresentados, para consulta, no Anexo I [2].



**Figura 3.3 - Exemplificação das variáveis presentes na interligação de um parque eólico à rede**

A rede pode ser vista como uma fonte de tensão,  $U_1$ , próxima de uma impedância,  $Z$ . Esta representa a impedância de todas as cargas, linhas de transmissão e transformadores nesta secção da rede eléctrica, onde  $R$  e  $X$  são resistência e a reactância da rede de distribuição, respectivamente. No barramento de interligação do parque eólico à rede,  $U_2$ . Um conceito fundamental para caracterizar a capacidade de um sistema de energia, que necessite de alimentar cargas flutuantes sem que flutuações de tensão ocorram em níveis excessivos é a potência de curto-circuito,  $S_k$ . Pode ser calculada a partir de:

$$S_k = \frac{U_1^2}{Z} \quad (3.1)$$

Sendo um aerogerador uma fonte de corrente, alterações na produção de energia eólica resultam em parte de alterações na corrente que percorre a impedância  $Z$ , que por sua vez provoca alterações na tensão  $U_2$ . Para um valor de  $Z$  mais elevado, obtém-se um valor de  $S_k$  mais reduzido, havendo menos “espaço” para a energia eólica em comparação com um caso em que o valor de  $Z$  é mais reduzido ( $S_k$  é maior). É assim importante fazer uma escolha clara e segura para a referência contratual da potência de curto-circuito por forma a escolher a rede com a melhor robustez possível [2]. Na Figura 3.3 a produção de energia eólica é representada por  $S = P + jQ$ , onde  $S$ ,  $P$  e  $Q$  são, respectivamente, as potências aparente, activa e reactiva sendo que, esta última, depende directamente do desfasamento,  $\varphi$ , entre a corrente e a tensão em conformidade com a fórmula:

$$Q = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} P \quad (3.2)$$

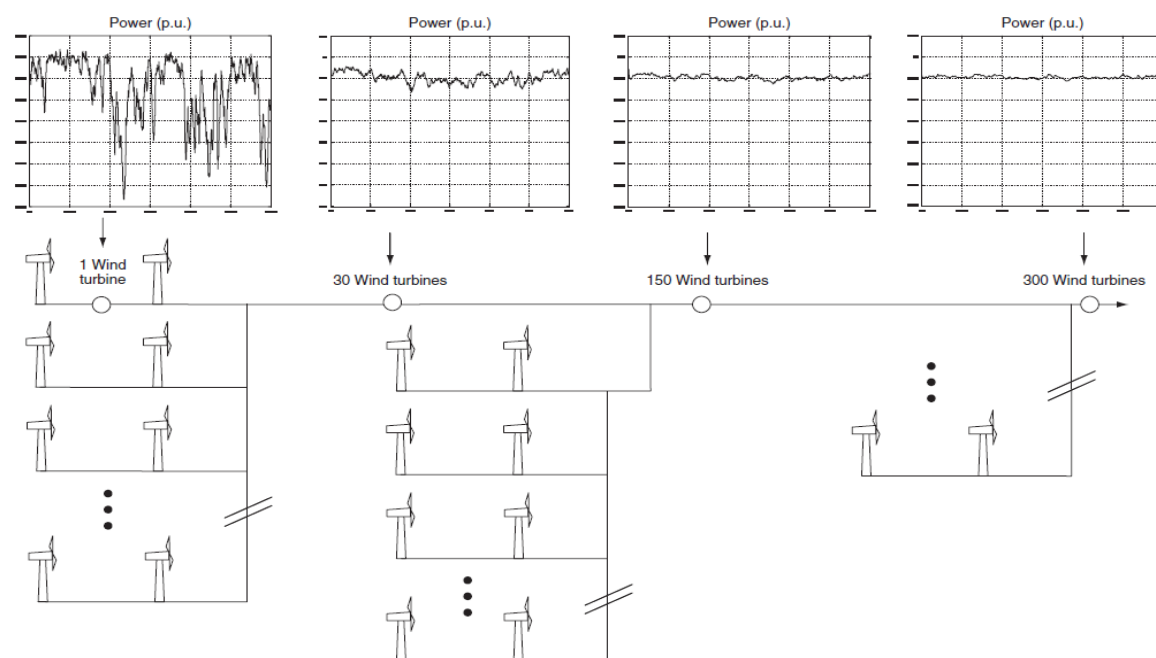
As flutuações de tensão,  $\Delta U_2$ , devido à produção variável de activa e de reactiva de um parque eólico ligado à rede de tensão  $U_1$ , podem ser calculadas através da aplicação fórmula:

$$\Delta U_2 \approx \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_1^2} \quad (3.3)$$

É possível constatar que as variações de tensão estão intimamente ligadas à variação tanto da potência activa como de reactiva assim como do valor da impedância da rede eléctrica em causa. No que diz respeito à operação de parques eólicos, há três aspectos fundamentais a considerar [21] [22]:

1. Estabilidade e fiabilidade do sistema - a variabilidade da produção dos parques eólicos ou mesmo uma eventual necessidade de desligar muitos parques eólicos ao mesmo tempo pode abalar a credibilidade da rede eléctrica, uma vez que ocupam já uma parte bem significativa do total da produção eléctrica em alguns países.
2. Qualidade da tensão da rede de distribuição de alimentação, e o seu impacto no desempenho do parque eólico. O funcionamento da rede também influencia os outros elementos a elas conectados.
3. Qualidade da corrente gerada e entregue à rede de distribuição pelo parque eólico.

No entanto, a viabilidade da energia eléctrica produzida através de aerogeradores pode ser ampliada procurando mitigar o impacto da intermitência do recurso eólico através da agregação de vários aerogeradores ou parques eólicos geograficamente dispersos (Figura 3.4)



**Figura 3.4 - Agregação de potência: impacto da distribuição geográfica e da adição de turbinas eólicas na produção eléctrica**

O objectivo é obter um recurso eólico mais constante ao longo de uma área geográfica mais ampla. Isto é, enquanto uma única turbina eólica produz uma quantidade variável de energia, a potência de um parque eólico será consideravelmente mais estável, sendo as variações da energia produzida inferiores, em termos relativos, comparativamente às da produção de uma turbina eólica isolada. A redução da variabilidade está assim directamente relacionada com o número de sistemas individuais, a separação geográfica destes sistemas e na aglomeração dos mesmos [2].

Como referido anteriormente, na integração de centrais eólicas na rede eléctrica, o conhecimento dos valores da razão de curto-circuito ( $R_{sc}$ ) é um parâmetro de especial interesse. A postura a tomar em relação à avaliação do perfil de tensões de uma dada rede eléctrica poderá depender, em parte, de uma

imediate dedução relativamente à robustez da rede eléctrica partindo apenas do valor de  $R_{sc}$ , como apresentado na figura abaixo.

Razão de curto-circuito ( $R_{sc}$ )	Observações	Acções a tomar
$R_{sc} > 20$	Não há problemas	É possível a ligação - após analisar o perfil de tensões da rede local.
$10 < R_{sc} < 20$	Normalmente não há problemas	Analisar previamente o impacto funcionamento de cada parque na rede eléctrica pré-existente (recurso a modelos estacionários e, eventualmente, dinâmicos).
$R_{sc} < 10$	Potenciais problemas no perfil de tensões da rede local	Simulação detalhada do impacte da central eólica na rede (modelos dinâmicos). Avaliação prévia dos parâmetros de qualidade de energia (IEC 61400-21). Proceder ao reforço (ou interligação) da rede.

**Figura 3.5 - Regras práticas em função do valor de  $R_{sc}$  na avaliação do perfil de tensões [23]**

Assim, consoante o valor da relação de curto-circuito,  $R_{sc}$ , as redes eléctricas são vulgarmente caracterizadas como fortes ou muito fracas quer  $R_{sc}$  seja superior a 20 ou inferior a 10, respectivamente.



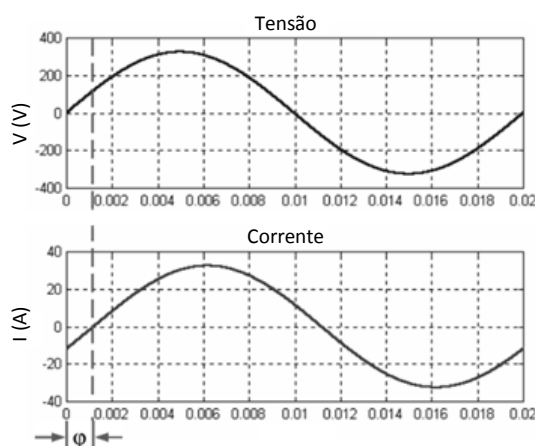


## 4. Qualidade de Energia Eléctrica

### 4.1 Introdução conceptual

Grande parte dos equipamentos ligados às redes de energia eléctrica consistiam, durante vastos anos, em cargas puramente lineares. Por essa mesma razão e uma vez que as tensões de alimentação são sinusoidais, as corrente consumidas também o eram, apresentando também a mesma frequência. A diferença notória residia no atraso em relação à tensão ( $\varphi$ ) - tal como ilustrado na Figura 4.1. Um exemplo de QEE perfeita significa que a tensão é contínua e sinusoidal, apresentando uma amplitude e frequência constante, ou seja [24]:

- valor eficaz da onda sinusoidal com valor nominal;
- frequência constante e de valor nominal;
- formas de onda sinusoidais puras;
- sistema de tensões simétrico e equilibrado, num sistema trifásico.



**Figura 4.1 - Tensão e corrente para um sistema eléctrico com cargas lineares.**

Actualmente, a presença do mais variado tipo de equipamentos electrónicos e de cargas não-lineares nos diversos sectores de actividade na sociedade (industrial, comercial e em aplicações domésticas) é cada vez maior. Problemas como picos de energia, cavas de tensão, pobre regulação da frequência, harmónicas e inter-harmónicas, transitórios, ruído eléctrico ou mesmo o efeito de interferência electromagnética são bastantes comuns. Todos estes problemas são tratados com o resultado da consequência de uma eventual fraca QEE (Figura 4.2). Do ponto de vista da utilização eléctrica via doméstica ou industrial, podem levar à danificação de equipamentos, a perdas de produção, a preocupações de segurança, falta de confiança no sistema de fornecimento de energia eléctrica e a avultadas perdas económicas. A flutuação de cargas no sistema de energia eléctrica (SEE) é uma das principais fontes de perturbações, como por exemplo, máquinas de soldar, fornos de arco eléctrico ou mesmo caldeiras eléctricas.

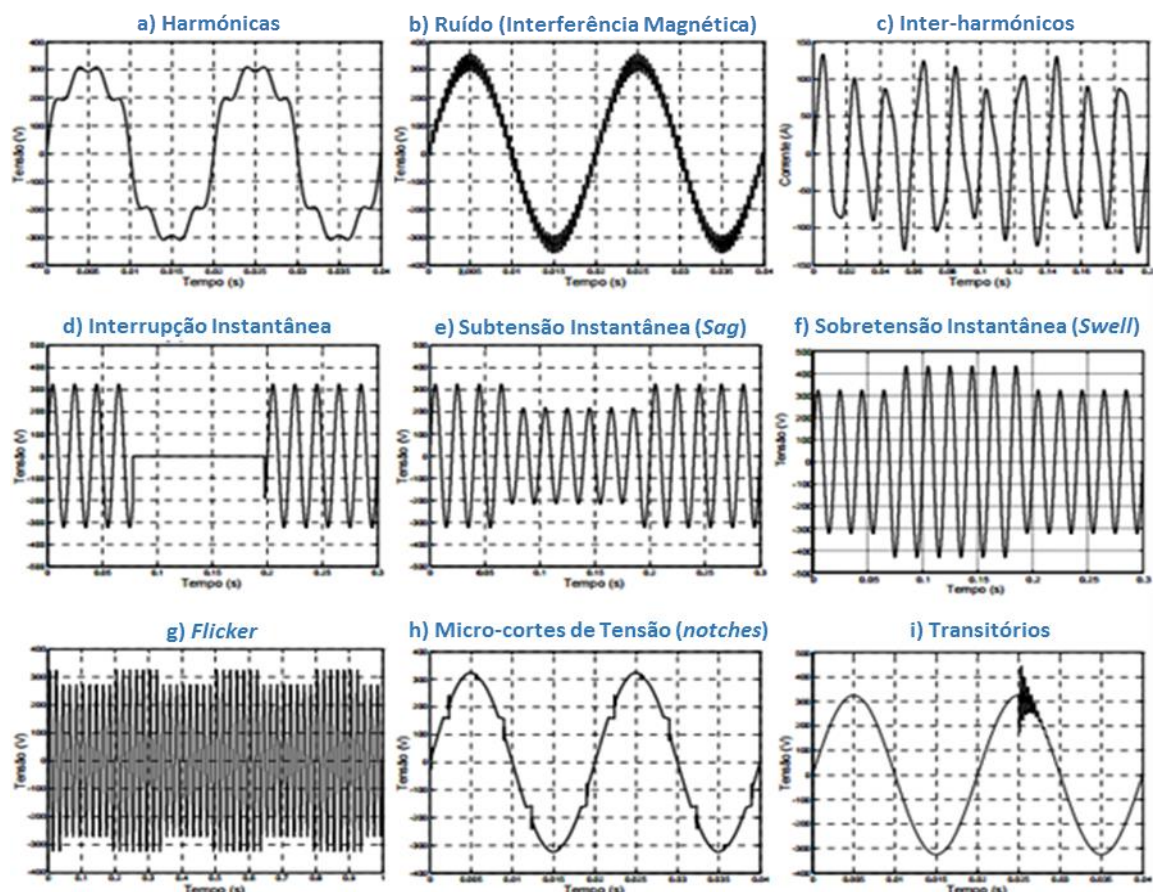


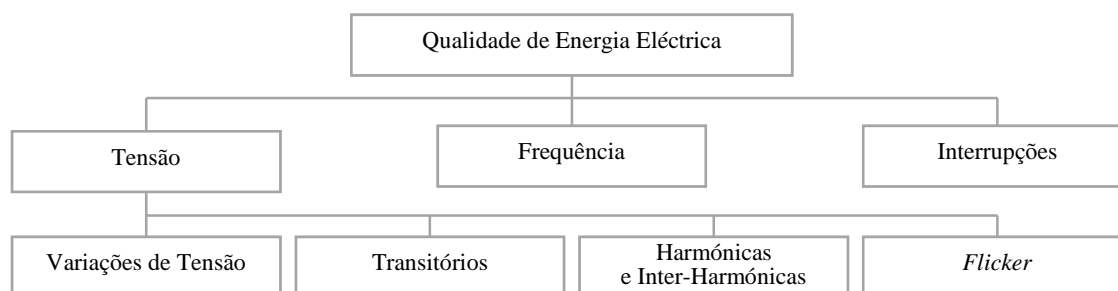
Figura 4.2 - Problemas de QEE – adaptado de [24].

A QEE é definida pelo IEEE como um conceito relativo à ligação de equipamentos electrónicos que permitam o funcionamento adequado dos mesmos e de quaisquer outras ligados a um mesmo sistema eléctrico [25]. É comum recorrer ao estudo das ondas sinusoidais de tensão e de corrente aplicadas num equipamento/sistema eléctrico, por forma a obter informações claras que permitam inferir sobre o estado da energia eléctrica fornecida em um qualquer ponto da rede eléctrica. Do ponto de vista da geração eléctrica, a QEE é, desta forma, uma medida de como um sistema de energia eléctrica se comporta face às várias interferências e interrupções durante a sua operação no fornecimento de energia eléctrica [25]. Nos subcapítulos seguintes é apresentada uma abordagem a alguns dos vários aspectos que podem influenciar a QEE de uma rede eléctrica, em particular, por um parque eólico a ela interligada.

## 4.2 Principais Indicadores - Energia Eólica

Do ponto de vista da geração de electricidade, sabe-se que a integração de um parque eólico na rede eléctrica também afecta a QEE entregue à rede e tem um impacto directo na eficiência, segurança e fiabilidade da mesma. A QEE é, por isso mesmo, um dos importantes aspectos a ter em consideração durante o planeamento para a instalação de um parque eólico e respectiva ligação à rede eléctrica,

dependendo seriamente da interacção entre a rede e o próprio parque eólico. Podendo ser expressa em termos de características físicas e propriedades da electricidade, a QEE é, normalmente, descrita em termos de tensão, frequência e interrupções. Assim, as perturbações de tensão podem dividir-se em grupos tais como variações de tensão lentas, flutuações de tensão rápidas (*flicker*), transitórios e distorção das harmónicas (Figura 4.3) [26].



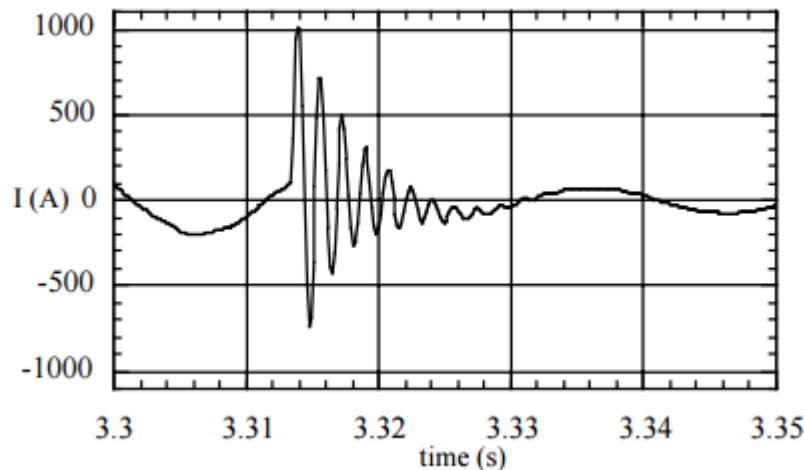
**Figura 4.3 - Classificação dos principais fenómenos que influenciam a QEE**

#### 4.2.1 Variações de tensão

As variações de tensão podem ser definidas como mudanças no valor eficaz da tensão que ocorrem num determinado período de tempo. As variações de tensão são o principal resultado de variações nas cargas ou na produção de electricidade. Num parque eólico, a variação na produção eléctrica é bastante variável e não só devido às variações do recurso eólico. Pode passar do vazio à plena carga (quando ligada em óptimas condições de vento) como pode também passar da plena carga ao vazio devido a uma paragem de emergência do parque eólico (velocidades de vento acima dos 25 m/s, por exemplo) [27]. No cálculo das variações de tensão, vários métodos podem ser utilizados, entre os quais o método simples já apresentado - equação (3.3). Na Suécia e na Dinamarca, as variações de tensão não devem de exceder os 2,5% numa rede de distribuição. No caso de turbinas eólicas estarem conectadas a essa mesma rede de distribuição as variações de tensão não devem de superar os 5% [28].

#### 4.2.2 Transitórios

Os transitórios são desvios de tensão ou de corrente relativamente aos seus valores nominais. Apesar de serem de curta duração (na ordem dos  $\mu s$  ou  $ms$ ) são bastantes significativos [29]. A produção de energia eólica pode criar transitórios na rede que ocorrem, na grande maioria dos casos, quando se liga ou desliga uma turbina eólica da rede. Quando o vento atinge uma certa velocidade, a turbina eólica inicia a sua sequência de ligação à rede eléctrica. A velocidade da turbina é então aumentada até que a velocidade do gerador atinja valores próximos da velocidade de sincronismo, sendo nesse momento a turbina ligada à rede. Durante esta sequência de ligação ocorre um pico de corrente que pode atingir o dobro da corrente nominal da turbina eólica o que pode alterar de forma substancial a tensão da rede a que está ligada. Estes transitórios podem causar distúrbios em equipamentos sensíveis ligados à mesma parte da rede eléctrica [26] [27].



**Figura 4.4 – Oscilação da corrente instantânea, consequência da ligação de condensadores durante a sequência de arranque de uma turbina eólica de 225 kW [26]**

### 4.2.3 Harmónicas

Harmónicas são ondas sinusoidais de tensão ou corrente com frequência múltipla da frequência da rede. No caso de um sistema eléctrico de 50 Hz, como o de Portugal, as harmónicas têm as frequências de 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, etc. Dependendo do nível e da ordem da harmónica, são vários os efeitos gerados pela distorção harmónica: ressonância, geração de inter-harmónicas (componentes de frequências localizadas entre as harmónicas da frequência fundamental) e perdas electromagnéticas. [15]. As tecnologias equipadas com geradores síncronos ou de indução directamente ligados à rede eléctrica utilizam imensos elementos frutos de avanços da electrónica de potência, como é o caso dos conversores, que são conhecidos como uma fonte de harmónicas. Conversores baseados em tirístores podem influenciar as tensões harmónicas. No entanto, estes conversores operam em frequências acima de 3 kHz. Assim, o impacto dos mesmos na forma de onda de tensão torna-se insignificante [30].

### 4.2.4 Flicker

O fenómeno do *flicker* é descrito, essencialmente, como a percepção visual de um ser humano a variações da intensidade luminosa produzidas por uma lâmpada incandescente devido às rápidas variações de tensão da fonte de alimentação compreendidas entre os 0.5Hz e os 35Hz ou 42 Hz (quer se trate de um sistema eléctrico de 50 ou 60 Hz). A variação no brilho de uma fonte luminosa tem efeitos secundários em observadores humanos. Em casos de exposição por longos períodos de tempo, o nível do incómodo causado pela ocorrência de *flicker* pode levar a sintomas tais como tonturas, fadiga e dores de cabeça. No caso de aparelhos electrónicos e máquinas industriais, pode levar a falhas na operação e à redução do tempo de vida útil dos equipamentos [31] [32]. Do ponto de vista da geração eléctrica a partir de aerogeradores, estes podem ser uma das principais fontes de *flicker* devido, por exemplo, à

variabilidade do vento ou ao efeito de sombra causado pela torre<sup>8</sup>. O *flicker* pode ocorrer durante a operação contínua ou em operação comutada, quando se ligam ou desligam os geradores.

A norma IEC 61000-4-15 em conjunto com a norma IEC 61400-21 permite desenvolver uma ferramenta com vista a aferir o valor de *flicker* que uma turbina eólica pode emitir numa dada rede eléctrica. Sendo este o fenómeno de maior interesse no trabalho presente trabalho, a apresentação e aprofundamento dessas mesmas normas fazem parte do conteúdo abordado nos dois capítulos que se seguem.

---

<sup>8</sup> Breve redução do binário mecânico (e por consequência, produção de energia) cada vez que uma pá passa por trás da torre.



## 5. O Modelo do Flickermeter

### 5.1 Introdução

Os estudos e simulações relacionados com a qualidade da energia eléctrica são bastantes complexos e exigem modelos específicos. Neste capítulo é apresentada e descrita a metodologia recomendada pela norma IEC 61000-4-15 [33]. Esta foi a norma utilizada para o desenvolvimento do modelo de medição de um dos parâmetros que mais afecta a qualidade de energia de um sistema eléctrico, já anteriormente referido, e o qual é inerente a este trabalho, o *flicker*. Em sistemas de distribuição eléctrica, este fenómeno pode colocar em causa a estabilidade e a fiabilidade da rede eléctrica levando a dificuldades na sua operação. O modelo utilizado para calcular este parâmetro é designado por *flickermeter*.

A aplicação de um medidor de *flicker* tem como principal objectivo a simulação da resposta do sistema humano “lâmpada-olho-cérebro” face a eventuais valores de tensão medidos. Como resultado dessa simulação, é importante a obtenção de dois parâmetros:

- $P_{inst}$  - sensação instantânea de *flicker*;
- $P_{st}$  e  $P_{lt}$  - factor de *flicker* de curto e longo prazo, respectivamente (sendo o primeiro medido num período de 10 minutos e o segundo estimado para um período de 2 horas).

Em termos quantitativos, um valor de  $P_{inst}$  igual a 1.0 (valor unitário) significa que um total de 50% da população humana, em condições de teste, apresenta sensibilidade suficiente para se aperceber da ocorrência de *flicker*. Analogamente, um valor  $P_{st}$  de 1.0 diz respeito ao ponto em que 50% da população humana já se mostra realmente perturbada com o fenómeno de *flicker* [34].

### 5.2 Descrição do Modelo

A norma internacional IEC 61000-4-15 define os requisitos para o desenvolvimento do modelo do *flickermeter*. Este é dividido em duas partes, executando cada uma delas uma das seguintes funções:

- Simulação da resposta da cadeia “lâmpada-olho-cérebro”;
- Análise estatística dos valores de sensação instantânea de *flicker* e posterior emissão do valor do coeficiente de severidade de *flicker* de curta duração,  $P_{st}$ .

A primeira função do modelo é realizada pelo conjunto de blocos 2, 3 e 4, como ilustrado na Figura 5.1. A segunda função, por sua vez, é desempenhada pelo bloco 5.

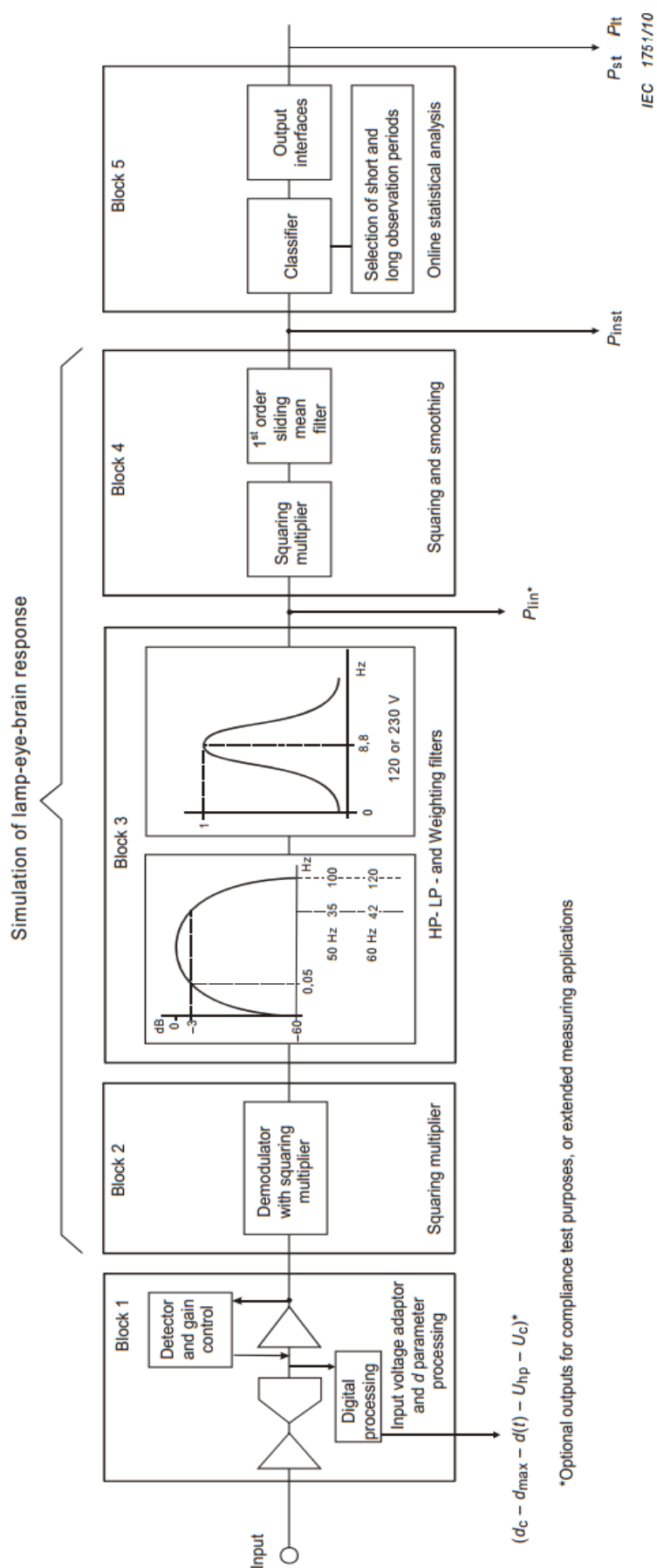


Figura 5.1 – Diagrama funcional do *Flickermeter* de acordo com a norma IEC 61000-4-15 [33]



### Bloco 1 – Adaptação da tensão de entrada

O bloco 1 é composto por um adaptador da tensão cujo propósito é normalizar a tensão de entrada por um sinal de referência. A existência de diferentes níveis de tensão no fornecimento de energia eléctrica levou à necessidade de normalizar as variações de tensão, de modo a que estas pudessem ser apresentadas em termos percentuais de uma tensão de referência. Assim, os efeitos das variações relativas de tensão podem ser comparados directamente e independentemente do nível de tensão do sinal de entrada. De modo a não modificar a variação relativa de modulação na entrada do bloco 2, o nível da tensão eficaz modulada deve ser mantido num valor de referência. Para este efeito, os valores de meio ciclo da tensão eficaz são processados através de um filtro passa-baixo de 1ª ordem com uma constante de tempo de valor 27.3 s. Este filtro pode ser representado pela função de transferência:

$$F(s) = \frac{1}{27.3s + 1} \quad (5.1)$$

em que  $s$  é a variável complexa de Laplace. A faixa de operação deste circuito é suficiente para garantir uma reprodução correcta das variações de tensão de entrada, criando *flicker*.

### Bloco 2 – Demodulação Quadrática

O bloco 2 é constituído simplesmente por um multiplicador. Actua, como um modelador quadrático, elevando, assim, o sinal de entrada ao quadrado. O objectivo deste bloco é apenas a extracção da amplitude da variação de tensão do sinal, já normalizado, permitindo assim a simulação do comportamento de uma lâmpada, o primeiro componente fundamental da cadeia lâmpada-olho-cérebro.

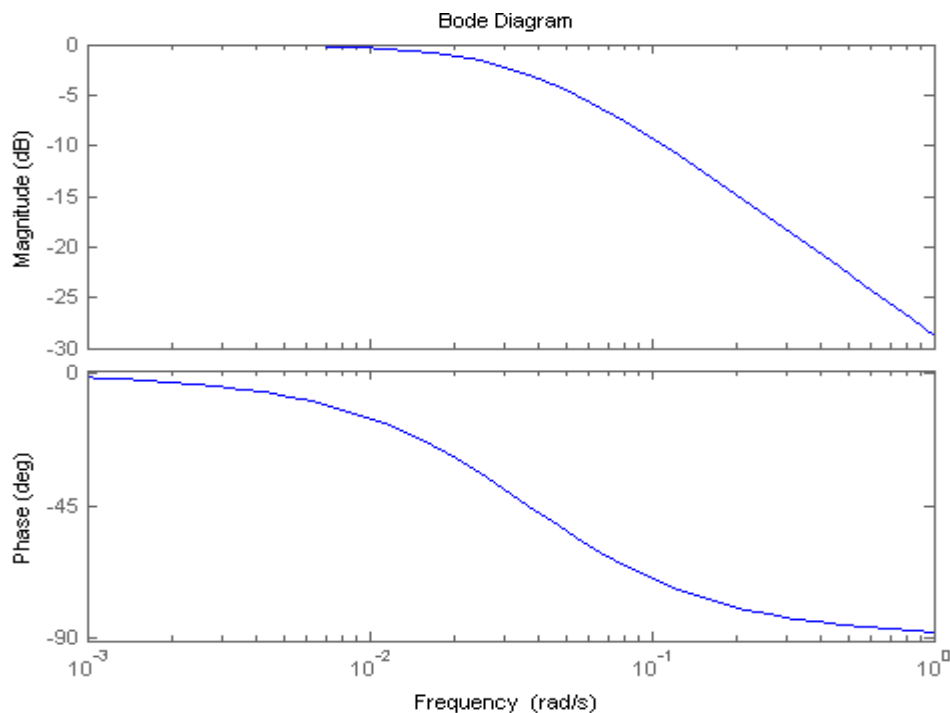


Figura 5.2 - Representação na frequência do filtro passa-baixo do Bloco 1

### Bloco 3 – Ponderação em frequência

O bloco 3 representa o segundo - e o principal - componente na simulação da cadeia lâmpada-olho-cérebro. É formado por um conjunto de filtros em cascata cujo objectivo é a remoção das componentes de frequência indesejadas. São eliminadas as componentes contínuas (frequência abaixo de 0.05 Hz) e componentes de frequência acima do dobro da frequência principal (acima de 100 Hz ou de 120 Hz para sistemas de frequência de 50 Hz ou de 60 Hz, respectivamente). Este bloco do *flickermeter* é assim composto pelos seguintes filtros:

- Filtro Passa-Alto, de 1ª ordem e com frequência de corte de valor 0.05 Hz, a -3dB;
- Filtro Passa-Baixo, do tipo *Butterworth*, de 6ª ordem e com frequência de corte a -3dB de valores 35 Hz ou 42 Hz para sistemas de 50 Hz ou 60 Hz, respectivamente;
- Filtro de Ponderação em frequência, cuja resposta está centrada na frequência de 8.8 Hz. Este filtro simula parte da resposta do sistema visual humano em relação às flutuações de intensidade luminosas de lâmpadas incandescentes (60W/230V e/ou 60W/120V).

A norma IEC 61400-4-15 define uma função de transferência apropriada para este filtro de ponderação do bloco 3, definida por:

$$F(s) = \frac{k w_1 s}{s^2 + 2\lambda s + w_1^2} \times \frac{1 + \frac{s}{w_2}}{\left(1 + \frac{s}{w_3}\right) \times \left(1 + \frac{s}{w_4}\right)} \quad (5.2)$$

Os parâmetros associados, dependendo do tipo de sistema (230 ou 120V), são mostrados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1 - Valores indicativos dos parâmetros das duas lâmpadas**

Variável	Lâmpada 230 V	Lâmpada 120 V
$k$	1.74802	1.6357
$\lambda$	$2\pi \cdot 4.05981$	$2\pi \cdot 4.167375$
$w_1$	$2\pi \cdot 9.15494$	$2\pi \cdot 9.07169$
$w_2$	$2\pi \cdot 2.27979$	$2\pi \cdot 2.939902$
$w_3$	$2\pi \cdot 1.22535$	$2\pi \cdot 1.394468$
$w_4$	$2\pi \cdot 21.9$	$2\pi \cdot 17.31512$

Tendo então em consideração o nível de tensão em estudo (230V ou 120V) e aplicando os valores apresentados na Tabela 5.1, é possível traçar para cada um dos sistemas os Diagramas de Bode de fase e de amplitude referente à última função de transferência apresentada (Figura 5.3).

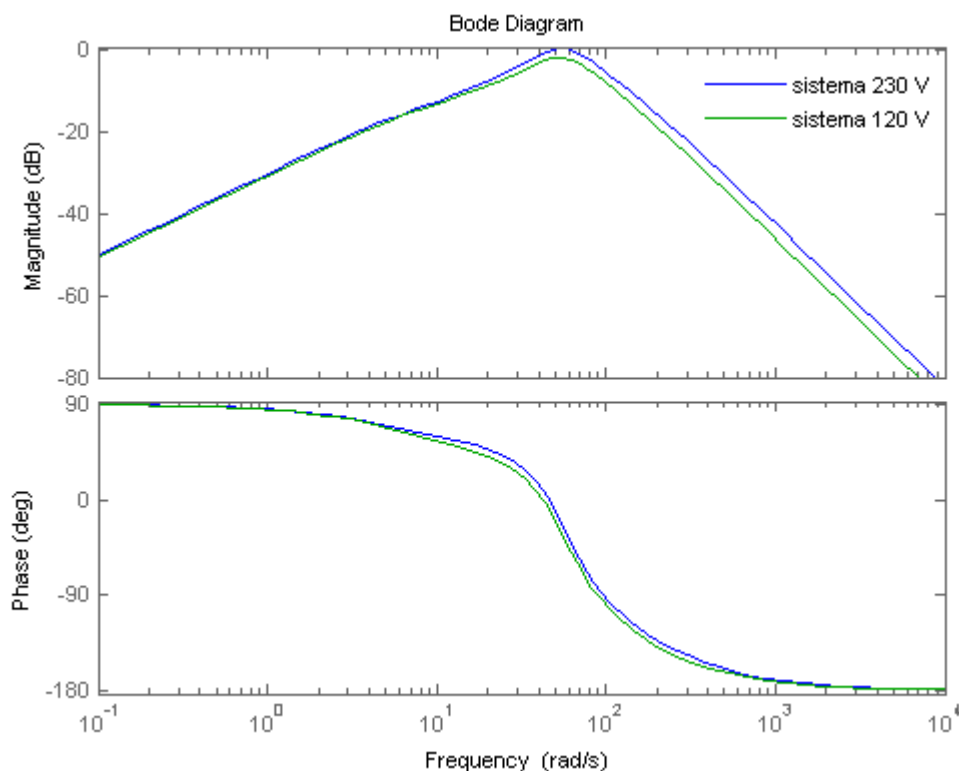


Figura 5.3 - Representação na frequência do filtro passa-banda - Bloco 3 (sistemas: 230V e 120V)

#### Bloco 4 – Média quadrática (Demodulador quadrático e filtro de média móvel)

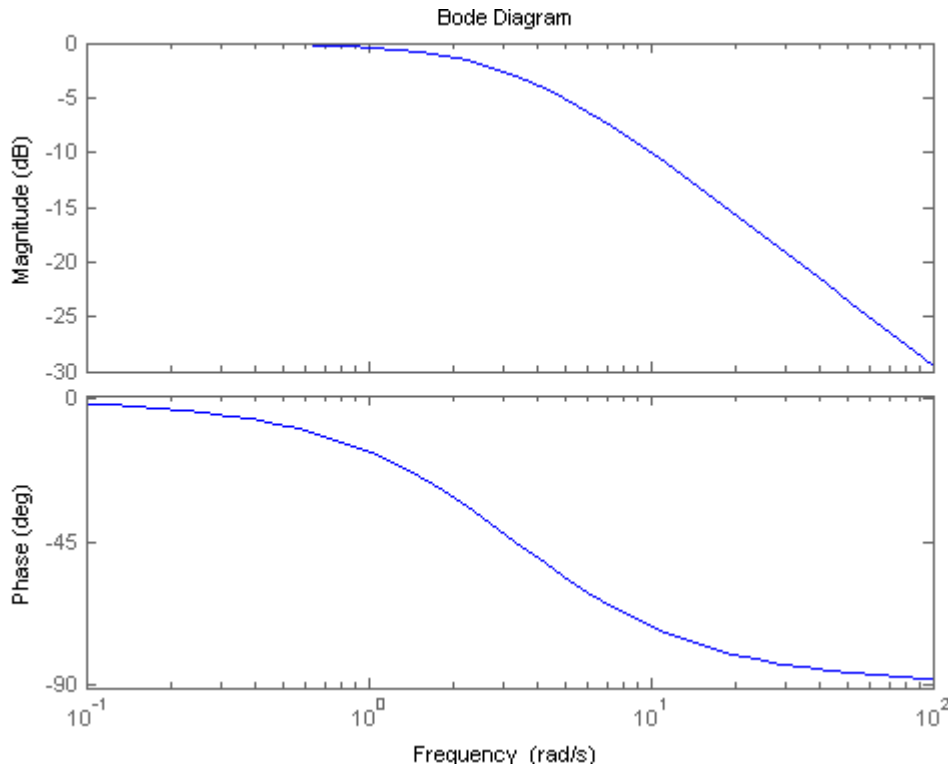
O bloco 4 desempenha duas funções bastante específicas:

- Simulação da percepção não-linear do sistema visual humano, aquando da ocorrência de variações na iluminação local;
- Simulação do efeito de armazenamento de informações do cérebro humano.

A primeira função resume-se a um multiplicador que actua como um demodulador quadrático e, tal como no bloco 2, é o responsável pela elevação ao quadrado do sinal de saída do bloco 3. A segunda função é desempenhada por um filtro passa-baixo, de 1ª ordem, com uma constante de tempo de 300 ms. Em termos práticos, este último valor reproduz o tempo de adaptação da retina do olho humano às variações de intensidade luminosa. O filtro do bloco 4 pode ser então representado por:

$$F(s) = \frac{1}{0.3s + 1} \quad (5.3)$$

As curvas da Figura 5.4 mostram as respostas em amplitude e frequência desta mesma função de transferência.



**Figura 5.4 - Representação na frequência do filtro passa-baixo do Bloco 4**

Estudos recomendam a multiplicação do sinal de saída do filtro do bloco 4 por um factor de escala de valor 1238400, por forma a obter o valor máximo de perceptibilidade de 1 para uma variação de tensão relativa de  $\Delta V/V = 0.25\%$  a uma frequência de modulação de 8.8% [35]. Esta é a frequência à qual o olho humano é mais sensível à ocorrência de *flicker* por uma lâmpada incandescente. A série temporal de saída do bloco 4 representa a sensação de *flicker* instantânea,  $P_{inst}$ .

### Bloco 5 – Análise estatística

O argumento de saída do bloco 4,  $P_{inst}$ , é um sinal positivo e variável ao longo do tempo. Para a grande maioria das frequências, as variações de tensão são atenuadas. No entanto, o ganho unitário do filtro de ponderação em torno de 8.8 Hz implica que as variações neste valor de frequência não são atenuadas como as restantes. As variações de tensão podem resultar de variações tanto ao nível da amplitude como da frequência levando a uma variação aleatória do sinal de  $P_{inst}$ . Desta forma, é necessário proceder a um tratamento estatístico de  $P_{inst}$  para uma melhor avaliação deste sinal. A medição da severidade de *flicker* resulta da avaliação estatística dos níveis instantâneos de *flicker*,  $P_{inst}$ . É compreendida num período de observação de 10 minutos e o seu resultado designado por factor de *flicker* de curto prazo,  $P_{st}$ . O tratamento estatístico utilizado para obter o valor de  $P_{st}$  pretende modelar a forma como os seres humanos reagem ao *flicker*, representando o nível de irritabilidade humana na presença deste fenómeno. Este é o argumento de saída do bloco 5 e, por sua vez, o argumento final de saída do modelo do *flickermeter*. É definida pela norma a seguinte fórmula para o cálculo da severidade de *flicker* ( $P_{st}$ ):

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 \cdot P_{0.1} + 0.052 \cdot P_{1s} + 0.0657 \cdot P_{3s} + 0.28 \cdot P_{10s} + 0.08 \cdot P_{50s}} \quad (5.4)$$

onde os percentis  $P_{0.1}$ ,  $P_1$ ,  $P_3$ ,  $P_{10}$  e  $P_{50}$  representam os níveis de *flicker* excedidos para 0.1%, 1%, 3%, 10% e 50% do tempo do período de observação. O índice “s” na equação (5.4) indica a necessidade de se recorrer à utilização de valores ponderados, os quais são obtidos a partir das seguintes equações:

$$P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3} \quad (5.5)$$

$$P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5} \quad (5.6)$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2.2} + P_3 + P_4}{3} \quad (5.7)$$

$$P_{1s} = \frac{P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}}{3} \quad (5.8)$$

De referir que  $P_{0.1}$  não é acompanhado do índice “s”. A constante de tempo de 300 milissegundos do filtro passa baixo do bloco 4, presente na Equação (6.3), permite que não ocorram variações bruscas do sinal. Assim sendo, não é necessário proceder a uma ponderação para este mesmo percentil. É também necessário de salientar que estes percentis dizem respeito à percentagem de valores do qual o nível de *flicker* é excedido. Quer isto dizer que a sua definição é inversa à definição de percentil normalmente conhecida e utilizada. Desta forma, e nesta situação, temos que para o cálculo do valor do percentil  $P_x$  o valor a calcular deve ser  $P_{100-x}$ .

O *flickermeter* constitui uma ferramenta de grande utilidade nas simulações e estudos associados com a qualidade da energia eléctrica, nomeadamente no estudo de flutuações de tensão nos sistemas de eléctricos. A aplicabilidade do mesmo é válida para qualquer sistema eléctrico, pois a possibilidade de ocorrência do fenómeno de *flicker* está sempre presente. No que diz que respeito à análise da qualidade de energia de geradores eólicos, este desempenha um papel muitíssimo relevante, particularmente na avaliação do factor de *flicker*,  $P_{st}$ , característico deste tipo de tecnologia.



## 6. Aplicação à Energia Eólica

### 6.1 Introdução

A integração dos parques eólicos nas redes eléctricas obrigam a que se definam de forma objectiva e transparente regras, procedimentos e condições técnicas que a permitam integrar nas redes eléctricas [36]. Assim a necessidade de documentação consistente, precisa e replicável referente à avaliação da qualidade de energia eléctrica de parques eólicos entregue à rede, levou a Comissão Electrotécnica Internacional (IEC<sup>9</sup>) a trabalhar no sentido de procurar uma metodologia que pudesse colmatar esta mesma falta. Como resultado foi desenvolvida a norma IEC 61400-21 e, actualmente, a maioria dos fabricantes de turbinas eólicas disponibilizam os dados característicos de qualidade de energia em conformidade com a mesma [2] [37]. A apresentação da metodologia seguida pela norma IEC 61400-21 para avaliação da qualidade de energia, relativamente a rápidas variações de tensão, é o propósito deste capítulo. A consulta e a aplicação desta mesma norma foi uns dos principais pilares para o desenvolvimento do modelo subadjacente a esta dissertação.

### 6.2 Variações de Tensão

Devido à distribuição aleatória do recurso eólico, a energia dos parques eólicos é, na grande maioria dos casos, proveniente de uma fonte de energia distribuída. Por esta mesma razão, turbinas e parques eólicos são tipicamente ligados à rede local de distribuição de energia eléctrica de média tensão. O ponto de ligação entre ambos, é vulgarmente conhecido por PCC<sup>10</sup>. Esta mesma rede pode não ser destinada unicamente ao despacho da energia resultante da produção eólica. A ligação de uma outra central de produção de energia eléctrica e/ou de outras cargas que essa mesma rede alimente é uma realidade bem possível. Tal facto implica que as flutuações de tensão de outros constituintes agregados à rede eléctrica causem também flutuações de tensão significativas aos terminais do aerogerador, que se encontra em teste. Em adição, as características da rede também têm a sua influência nas flutuações de tensão do aerogerador.

No contexto da energia eólica e da avaliação deste parâmetro da qualidade de energia, o objectivo é a análise das flutuações de tensão de uma, ou mais, turbinas eólicas ligadas à rede eléctrica, em que a independência das condições da rede eléctrica local desempenha um papel bastante importante. Para que tal seja possível, a norma IEC 61400-21 especifica uma metodologia que recorre à utilização de séries temporais de corrente e de tensão medidas aos terminais da turbina eólica. O objectivo é a simulação das flutuações de tensão, numa rede fictícia, em que não exista nenhuma outra fonte de flutuações de tensão a não ser a turbina eólica a ser analisada. Essa mesma metodologia é apresentada

---

<sup>9</sup> IEC – sigla do termo anglo-saxónico *International Electrotechnical Commission*

<sup>10</sup> PCC - sigla do termo anglo-saxónico *Point of Common Coupling*

nos subcapítulos seguintes, passando pela descrição do modelo da rede fictícia e dos cálculos necessários à obtenção dos parâmetros mais importantes tanto em operação contínua (coeficiente de flicker,  $c(\psi_k, va)$ ) como em operação de comutação (factor de variação de tensão,  $k_u(\psi_k)$  e o factor de flicker,  $k_f(\psi_k)$ ).

### 6.2.1 Rede Fictícia

O diagrama da rede fictícia proposto pela norma é ilustrado na Figura 6.1. A rede fictícia é representada por uma fonte de tensão ideal, de valor instantâneo  $u_0(t)$  e por uma impedância que é constituída por uma resistência,  $R_{fic}$ , em série com uma indutância,  $L_{fic}$ . A turbina eólica é representada por uma fonte de corrente,  $i_m(t)$ , cujo valor instantâneo corresponde ao valor medido da corrente, na fase de estudo.

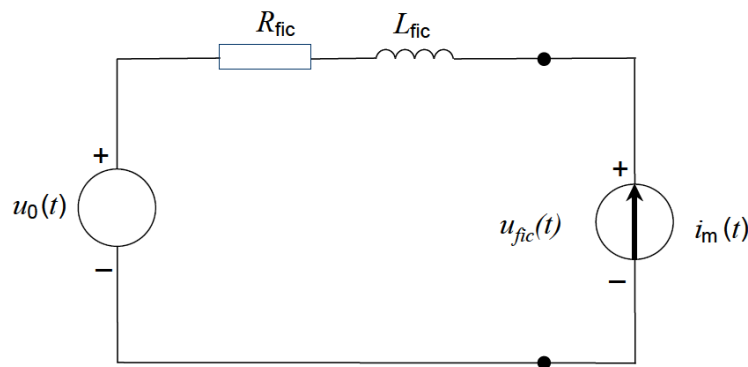


Figura 6.1 - Rede Fictícia para simulação da tensão fictícia,  $u_{fic}(t)$ .

Com este simples diagrama é possível simular as flutuações de tensão de uma rede (fictícia) causadas única e exclusivamente por apenas uma turbina eólica [38]. Obtém-se os valores da tensão fictícia instantânea,  $u_{fic}(t)$ , a partir da expressão (6.1):

$$u_{fic}(t) = u_0(t) + R_{fic}(t) \cdot i_m(t) + L_{fic}(t) \cdot \frac{di_m(t)}{dt} \quad (6.1)$$

A fonte de tensão ideal,  $u_0(t)$ , pode ser simulada de diversas maneiras. No entanto, esta deve de ir ao encontro de duas propriedades:

- A tensão ideal não deve ter nenhuma flutuações de tensão, isto é, o valor de *flicker* de  $u_0(t)$  tem de ser zero;
- $u_0(t)$  deve ter o mesmo ângulo eléctrico da tensão,  $\alpha_m(t)$ , que a onda da frequência fundamental da tensão medida. Isto garante que o ângulo de fase entre  $u_{fic}(t)$  e  $i_m(t)$  esteja correcto, na condição de que  $|u_{fic}(t) - u_0(t)| \ll |u_0(t)|$ .

Para cumprir estas propriedades,  $u_0(t)$  é definido por:



$$u_0(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_n \cdot \sin(\alpha_m(t)) \quad (6.2)$$

em que  $U_n$  é o valor eficaz da tensão nominal da rede e  $\alpha_m(t)$  o ângulo eléctrico da tensão. Este último é obtido através da equação:

$$\alpha_m(t) = 2\pi \times \int f(t) dt + \alpha_0 \quad (6.3)$$

em que  $f(t)$  representa a frequência instantânea (que pode variar ao longo do tempo),  $t$  é o tempo em que se dá início das séries de dados em estudo e  $\alpha_0$  é o ângulo eléctrico em  $t = 0$ .

As componentes resistiva e indutiva da rede fictícia,  $R_{fic}$  e  $L_{fic}$  respectivamente, obtêm-se a partir da expressão (6.4), fixando uma das componentes. Em (6.4)  $f_g$  é a frequência nominal da rede (50 Hz ou 60 Hz, conforme o tipo de sistema em teste) e  $\psi_k$  é o ângulo de curto-circuito, associado à impedância da rede eléctrica.

$$\tan(\psi_k) = \frac{2\pi \times f_g \times L_{fic}}{R_{fic}} = \frac{X_{fic}}{R_{fic}} \quad (6.4)$$

A potência aparente de curto-circuito trifásica da rede fictícia,  $S_{k,fic}$ , é dada por:

$$S_{k,fic} = \frac{U_n^2}{\sqrt{R_{fic}^2 + X_{fic}^2}} \quad (6.5)$$

Partindo das expressões acima apresentadas e recorrendo à notação complexa, conclui-se que:

$$R_{fic} + j X_{fic} = \frac{U_n^2}{S_{k,fic}} \times (\cos(\psi_k) + j \times \sin(\psi_k)) \quad (6.6)$$

A metodologia descrita na norma IEC 61000-4-15 serve para determinar se uma flutuação específica de uma onda de tensão provoca *flicker*. O procedimento ilustrado na norma IEC 61000-4-15 pode, desta forma, não tratar eventuais pequenas flutuações de tensão de uma forma muito precisa. Por forma a garantir que os valores obtidos de  $P_{st}$  se encaixem nos intervalos de medição do modelo do *flickermeter*, deve ainda ser utilizado um valor adequado para a relação de curto-circuito,  $n$ , que é dado por:

$$n = \frac{S_{k,fic}}{S_n} \quad (6.7)$$

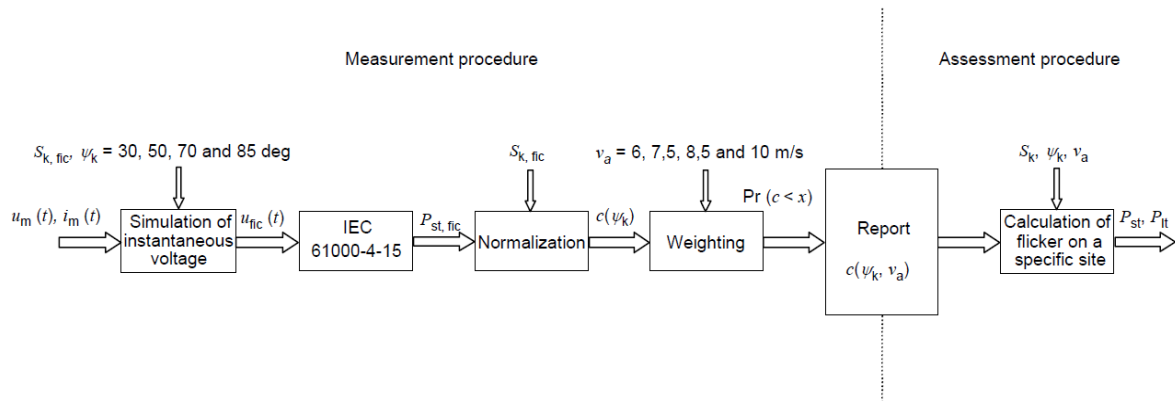
onde  $S_n$  é a potência nominal aparente do aerogerador. Através da redução da relação de curto-circuito, maiores flutuações de tensão podem ser obtidas. Por outro lado, se a relação de curto-circuito for exageradamente pequena, o valor médio eficaz da tensão de  $u_{fic}(t)$  afasta-se significativamente do valor eficaz de  $u_0(t)$ . Tal acontecimento influencia as variações relativas de tensão, uma vez que as variações de tensão absolutas são normalizadas com um valor médio diferente. A norma recomenda a utilização de um valor para a relação de curto-circuito da rede fictícia,  $n$ , compreendida entre 20 e 50.

## 6.2.2 Operação Contínua

Em termos de flutuações de tensão, o procedimento para a avaliação do nível de emissão de *flicker*,  $P_{st}$ , durante a operação contínua assume que cada aerogerador é caracterizado por um coeficiente de *flicker*,  $c(\psi_k, v_a)$ . Este coeficiente é tratado como uma função dependente do ângulo de impedância de curto-circuito (ou ângulo de fase da impedância da rede),  $\psi_k$ , e da distribuição da velocidade de vento,  $v_a$ . As medições necessárias para a sua aferição são as seguintes:

- Séries temporais de tensão e correntes instantâneas, das três fases, medidas aos terminais da turbina;
- Séries temporais de velocidade de vento.

Estas medições são assim o argumento de entrada no procedimento a executar para a medição e a avaliação de *flicker*, durante a operação contínua. Este procedimento é ilustrado na Figura 6.2. Enquanto o processo de medição é bastante abrangente, o processo de avaliação é bem mais simples.



**Figura 6.2 - Esquema para a medição e avaliação do *flicker* de um aerogerador em operação contínua**

Para cada ângulo de fase da impedância da rede ( $\psi_k = 30, 50, 70, 85^\circ$ ) e para cada distribuição de velocidade de vento ( $v_a = 6, 7.5, 8.5, 10$  m/s, em que  $v_a$  representa a velocidade média anual do vento) o procedimento a executar é o seguinte:

1. As séries temporais de tensão e corrente medidas,  $u_m(t)$  e  $i_m(t)$ , respectivamente, devem ser combinadas com a Equação (6.1) por forma a obter as séries temporais da tensão fictícia,  $u_{fic}(t)$ ;
2. As séries temporais de  $u_m(t)$  devem ser tratadas como a entrada do algoritmo do *flickermeter* (desenvolvido em conformidade com a norma IEC 61000-4-15, apresentado no Capítulo 5) para aferir o valor de emissão de *flicker* da rede fictícia,  $P_{st, fic}$ ;
3. O coeficiente de *flicker* é determinado para cada valor de emissão de *flicker* da rede fictícia anteriormente calculado, a partir de:

$$c(\psi_k) = P_{st, fic}(\psi_k) \times \frac{S_{k, fic}}{S_n} \quad (6.8)$$

em que  $S_{k,fic}$  e  $S_n$  são as potências aparente de curto-circuito da rede fictícia e a potência nominal da turbina eólica, respectivamente;

De seguida, é necessária a determinação de um factor de ponderação para cada classe de velocidade de vento. Isto permite assim que a frequência de ocorrência dos coeficientes de *flicker* medidos possam ser classificados de acordo com a distribuição das velocidades de vento. Este factor de ponderação é calculado recorrendo ao processo de 4 a 6, abaixo apresentado:

4. A frequência de ocorrências de velocidades de vento,  $f_{y,i}$ , corresponde a uma distribuição de Rayleigh e pode ser descrita pela Equação:

$$f_{y,i} = \exp\left(-\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{v_i - 0.5}{v_a}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{v_i + 0.5}{v_a}\right)^2\right) \quad (6.9)$$

onde  $v_i$  é o valor médio da  $i$ -ésima classe de velocidade de vento e  $v_a$  é o valor médio anual de velocidade de vento, como já foi previamente referido.

5. Para cada velocidade de vento, a frequência relativa de ocorrências,  $f_{m,i}$ , é dada por:

$$f_{m,i} = \frac{N_{m,i}}{N_m} \quad (6.10)$$

onde  $N_{m,i}$  é o numero de valores de coeficientes de *flicker* calculados para uma velocidade de vento relativa à classe  $i$  e  $N_m$  é o numero total de valores de coeficiente de *flicker*.

6. O factor ponderação é determinado para cada classe de velocidades de vento de 1 m/s desde a velocidade de arranque do aerogerador,  $v_{cut-in}$ , até à velocidade de 15 m/s, aplicando a equação abaixo:

$$w_i = \frac{f_{y,i}}{f_{m,i}} \quad (6.11)$$

Por fim, recorrendo ao processo descrito dos pontos 7 ao 8, é determinada a distribuição acumulada ponderada dos coeficientes de *flicker* obtidos e o coeficiente de *flicker*,  $c(\psi_k, v_a)$ .

7. A distribuição acumulada ponderada dos valores de coeficientes de *flicker* calculados é determinada a partir de:

$$\Pr(c < x) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{bin}} (w_i \times N_{m,i,c < x})}{\sum_{i=1}^{N_{bin}} (w_i \times N_{m,i})} \quad (6.12)$$

em que  $N_{m,i,c < x}$  é o número de coeficientes de *flicker* menores ou iguais que  $x$ , na  $i$ -ésima classe, e  $N_{m,i}$  é o número total de classes de velocidade de vento.

8. O coeficiente de *flicker*,  $c(\psi_k, v_a)$ , é então determinado como sendo o 99º percentil da distribuição acumulada ponderada, calculada no ponto anterior.

O factor de *flicker* de curto e longo prazo de uma turbina eólica de para um determinado  $\psi_k$  e  $v_a$  para um determinado local é depois obtido aplicando a expressão:

$$P_{st} = P_{lt} = c(\psi_k, v_a) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (6.13)$$

No caso de mais do que uma turbina estarem conectadas ao PCC, os mesmos factores podem ser estimados a partir de :

$$P_{st\Sigma} = P_{lt\Sigma} = \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{wt}} (c_i(\psi_k, v_a) \cdot S_{n,i})^2} \quad (6.14)$$

Onde

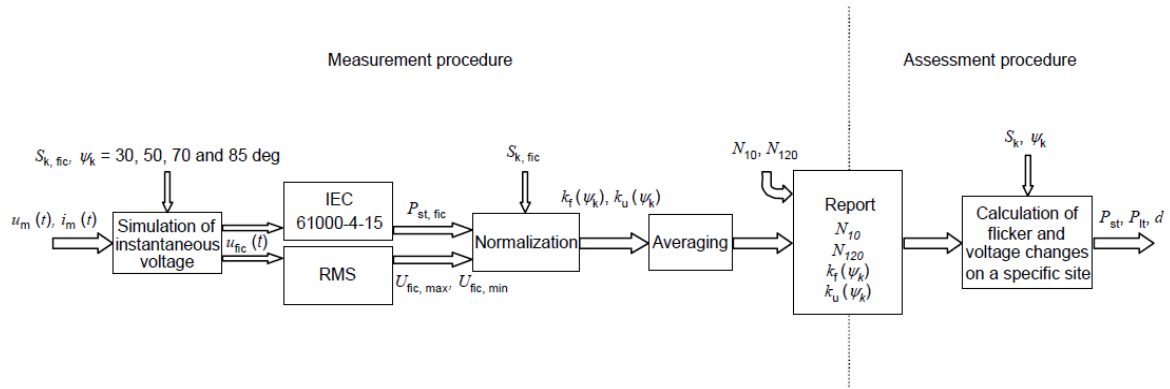
- $c_i(\psi_k, v_a)$  é o coeficiente individual para cada turbina eólica;
- $S_{n,i}$  é a potência aparente de uma turbina eólica;
- $N_{wt}$  é o número de turbinas eólicas

### 6.2.3 Operação de Comutação

No que diz respeito a flutuações de tensão, o procedimento para a avaliação do nível de emissão de *flicker*,  $P_{st}$ , durante operações de comutação assume que cada aerogerador é caracterizado pelo factor de variação de tensão,  $k_u(\psi_k)$  e pelo fator de *flicker*,  $k_f(\psi_k)$ . Estes coeficientes devem ser tratados como funções unicamente dependentes do ângulo de fase da impedância da rede,  $\psi_k$ . As medições necessárias para os aferir são as seguintes:

- Séries temporais de tensão e correntes instantâneas, das três fases, medidas aos terminais da turbina. As medições devem abranger um período,  $T_p$ , suficientemente longo de modo a garantir o desaparecimento do regime transitório originado pelo início da operação de comutação;
- Séries temporais de velocidade de vento.

Estas medições são o argumento de entrada no procedimento a executar para a medição e a avaliação de *flicker*, durante as operações de comutação. Este procedimento é ilustrado na Figura 6.3. Tal como no processo referente à operação contínua, o processo de avaliação é bastante mais simples que o processo de medição.



**Figura 6.3 - Esquema para a medição e avaliação do flicker de um aerogerador em operação de comutação**

Para cada ângulo de fase da impedância da rede ( $\psi_k = 30, 50, 70, 85^\circ$ ) o procedimento a executar é o apresentado abaixo:

1. As séries temporais de tensão e corrente medidas,  $u_m(t)$  e  $i_m(t)$ , respectivamente, devem ser combinadas com a Equação (6.1) por forma a obter as séries temporais da tensão fictícia,  $u_{fic}(t)$ ;
2. As séries temporais de  $u_{fic}(t)$  devem ser tratadas como a entrada de dois algoritmos diferentes:
  - Um dos algoritmos é o do *flickermeter* (desenvolvido em conformidade com a norma IEC 61000-4-15, apresentado no Capítulo 5.) para aferir o valor de emissão de *flicker* da rede fictícia,  $P_{st, fic}$ .
  - O outro algoritmo determina os valores de tensão eficaz durante uma operação de comutação. O resultado final a apresentar são os valores de tensão eficaz máxima,  $U_{fic, max}$ , e de tensão eficaz mínima,  $U_{fic, min}$ , da rede fictícia.
3. O factor de *flicker* (que representa uma medida normalizada da emissão de *flicker* devida a uma operação única de comutação do aerogerador) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \cdot P_{st, fic} \cdot T_p^{0.31} \quad (6.15)$$

4. O factor de variação de tensão (que representa uma medida normalizada da variação de tensão devida a uma operação única de comutação do aerogerador) é calculado a partir da seguinte expressão:

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{fic, max} - U_{fic, min}}{U_n} \cdot \frac{S_{k, fic}}{S_n} \quad (6.16)$$

5. É determinado o valor médio de todos os valores obtidos para as três fases e, como resultado final, obtém-se tanto o factor de variação de tensão como o factor de *flicker*.

O factor de *flicker* de curto e longo prazo de uma turbina eólica de para um determinado  $\psi_k$  para um determinado local é depois obtido aplicando as expressões:

$$P_{st} = 18 \cdot N_{10m}^{0.31} k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (6.17)$$

$$P_{lt} = 8 \cdot N_{120m}^{0.31} k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_k} \quad (6.18)$$

No caso de mais do que uma turbina eólica estarem conectadas ao PCC, os mesmos factores podem ser estimados a partir de:

$$P_{st\Sigma} = \frac{18}{S_k} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{10m,i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2} \right)^{0.31} \quad (6.19)$$

$$P_{lt\Sigma} = \frac{8}{S_k} \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{120m,i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2} \right)^{0.31} \quad (6.20)$$

Onde,

- $N_{10m,i}$  e  $N_{120m,i}$  são os números de operações de comutação de cada turbina eólica para 10 minutos e 2 horas, respectivamente.
- $k_{f,i}(\psi_k)$  é o factor de *flicker* individual para cada turbina eólica;
- $S_{n,i}$  é a potência aparente de uma turbina eólica;
- $N_{wt}$  é o número de turbinas eólicas.

### 6.3 Níveis de referência de $P_{st}$ e $P_{lt}$

As redes eléctricas devem ser exploradas de forma eficiente e segura, garantindo qualidade de serviço e evitando atrasos nas decisões relativas às autorizações de ligação dos produtores às redes, assegurando desta forma a criação de uma relação de confiança entre os produtores de energia e as concessionárias das redes [36]. O controlo dos indicadores de QEE anteriormente apresentados é um forte contributo nesse sentido, havendo limites que os mesmos devem respeitar.

Os limites dos parâmetros de *flicker*,  $P_{st}$  e  $P_{lt}$ , admissíveis para instalações conectadas a redes com diferentes níveis de tensão, devem ser igualmente respeitados e podem ser consultados na norma IEC 61000-3-7 [39]. Esta disponibiliza os valores de referência dos níveis de planeamento (utilizados para efeitos de avaliação dos impactos que possíveis instalações podem causar na rede eléctrica local, consoante o nível de tensão da rede – MT e AT) e os níveis de emissão de *flicker* (os valores mais baixos existentes que não devem de ser excedidos. Os mesmos são indicados na seguinte tabela.

Os níveis de emissão de *flicker* produzidos por uma instalação (cargas e/ou centrais produtoras de electricidade) que estão ligados à rede eléctrica não devem de exceder (em nenhuma circunstância!) os níveis de compatibilidade.

**Tabela 6.1 – Valores indicativos dos níveis de compatibilidade, planeamento e emissão *flicker* [39]**

PARÂMETRO	Compatibilidade	Planeamento		Emissão
	MT e AT	MT	AT	MT e AT
$P_{st}$	1.0	0.9	0.8	0.35
$P_{lt}$	0.8	0.7	0.6	0.25

A emissão de *flicker* deve ser assim limitada, e os factores de *flicker*,  $P_{st}$  e  $P_{lt}$ , devem de satisfazer as condições:

$$P_{st} \leq EP_{sti} \quad (6.21)$$

$$P_{lt} \leq EP_{lti} \quad (6.22)$$

onde  $P_{st}$  e  $P_{lt}$  são os factores de *flicker* de curto e longo prazo, respectivamente, e  $EP_{sti}$  e  $EP_{lti}$  são os níveis de emissão de *flicker* para o ponto de ligação à rede em questão (PCC).














## 7. O Modelo desenvolvido para avaliação da QEE

### 7.1 Exposição geral

No presente capítulo é apresentado o conjunto de informação que configura a ferramenta desenvolvida a partir de, e em plena concordância com, as normas previamente apresentadas para a análise da qualidade de energia. Desenvolvida com recurso ao ambiente computacional do MATLAB<sup>11</sup>/Simulink<sup>12</sup>, a mesma parte de um *script* concebido para prestar assistência aos modelos criados com recurso aos diagramas de blocos de que o Simulink dispõe. Estes ditos modelos estão integrados neste *script*/função principal e são invocados no decorrer normal do tratamento de dados, Outras funções foram implementadas por forma a auxiliar o cálculo de determinados parâmetros necessários a um melhor desempenho do programa, sendo elas:

- *flicker\_assessment.m* (função principal) <sup>13</sup>
  - *grid\_parameters.m* 
  - *fictitious\_grid.m* 
    - *iec\_61400\_21\_fictitious\_grid.slx* <sup>14</sup>
  - *flickermeter\_rmsmeter.m* 
    - *iec\_61000\_4\_15\_flickermeter\_rms\_algorithm.slx* 
    - *block5.m* 
  - *wind\_mean.m* 
  - *flicker\_coeff.m* 

A execução desta mesma ferramenta/modelo segue um princípio de funcionamento cujas iterações e passos são idênticos aos sugeridos pelas normas, podendo ser dividido em quatro partes fundamentais:

1. Leitura e análise dos dados
2. Execução da Norma IEC 61400-21 – simulação da rede fictícia.
3. Execução da Norma IEC 61000-4-15 – *flickermeter* e cálculo instantâneo RMS
4. Análise e apresentação dos resultados obtidos – posteriormente guardados em ficheiros para futuras consultas.

---

<sup>11</sup> MATLAB R2012b - Versão 8.0

<sup>12</sup> Programa integrado no ambiente computacional MATLAB. É uma ferramenta de modelação, simulação e análise de sistemas dinâmicos. A sua interface primária é uma ferramenta gráfica constituída por blocos e por bibliotecas de blocos personalizáveis.

<sup>13</sup> Indicação do logo, pretende indicar que se trata de um modelo desenvolvido no MATLAB

<sup>14</sup> Indicação do logo, pretende indicar que se trata de um modelo desenvolvido no *Simulink*

Numa primeira instância, é descrita a função principal e, de seguida, as restantes funções e modelos, pela ordem de funcionamento para a qual o modelo foi concebido.

## 7.2 Princípio de funcionamento do modelo

É apresentado na Figura 7.1 um fluxograma da função principal. Esta é a base de todo o programa desenvolvido, onde todos os “*scripts.m*” são chamados para efectuar os cálculos necessários à avaliação da qualidade de energia. Esta estabelece a ligação entre todos os elementos do programa, e permite a execução dos processos desde a inicialização das variáveis ao tratamento e armazenamento dos resultados obtidos. O processamento dos dados e os cálculos mais relevantes - apresentados nos Capítulos 5 e 6 - são maioritariamente efectuados em funções específicas adjacentes e não directamente nesta parte do programa.

**Tabela 7.1 - Apresentação sumária da função principal**

<b>Nome da função</b>	<i>flicker_assessment.m</i>
<b>Descrição</b>	Chamar e executar as funções e modelos integrados em todo o programa
<b>Inputs</b>	$U_n, S_n, S_k, n, freq, \psi_k, N_{wt}, v_{cut-in}, n_{tests}, i, ii, N_{10m}, N_{120m}, T_p$
<b>Outputs</b>	-----
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.1

Nesta função é necessário que o utilizador introduza os valores respeitantes às variáveis do estudo que se pretende efectuar. Essas variáveis são: a tensão aos terminais da turbina,  $U_n$ , a potência nominal do gerador eólico,  $S_n$ , a potência de curto-circuito da rede eléctrica a que o parque eólico está conectado,  $S_k$ , a frequência da rede eléctrica (50 ou 60 Hz), o ângulo de fase da impedância da rede,  $\psi_k$ , o número de aerogeradores do parque eólico em estudo,  $N_{wt}$ , a velocidade do aerogerador,  $v_{cut-in}$ , o número de testes a efectuar,  $n_{tests}$ , e o parâmetro referente ao cálculo a efectuar quer se trate de operação contínua,  $i = 1$ , ou de comutação,  $i = 2$ . Na eventualidade de  $i = 1$ , os restantes *inputs* são ignorados. No caso de  $i = 2$ , os valores de  $N_{10m}$  e  $N_{120m}$  são introduzidos pelo utilizador, caso se trate de uma operação no arranque da turbina eólica ( $ii = 1$ ) ou à velocidade nominal do aerogerador ( $ii = 2$ ). Caso estes valores sejam desconhecidos ou não sejam fornecidos pelo fabricante do aerogerador, assume-se, por omissão, os valores recomendados pela norma [37]. O parâmetro  $T_p$  diz respeito ao período da série de dados que é necessário por forma garantir o desaparecimento do regime transitório criado pela operação de comutação.

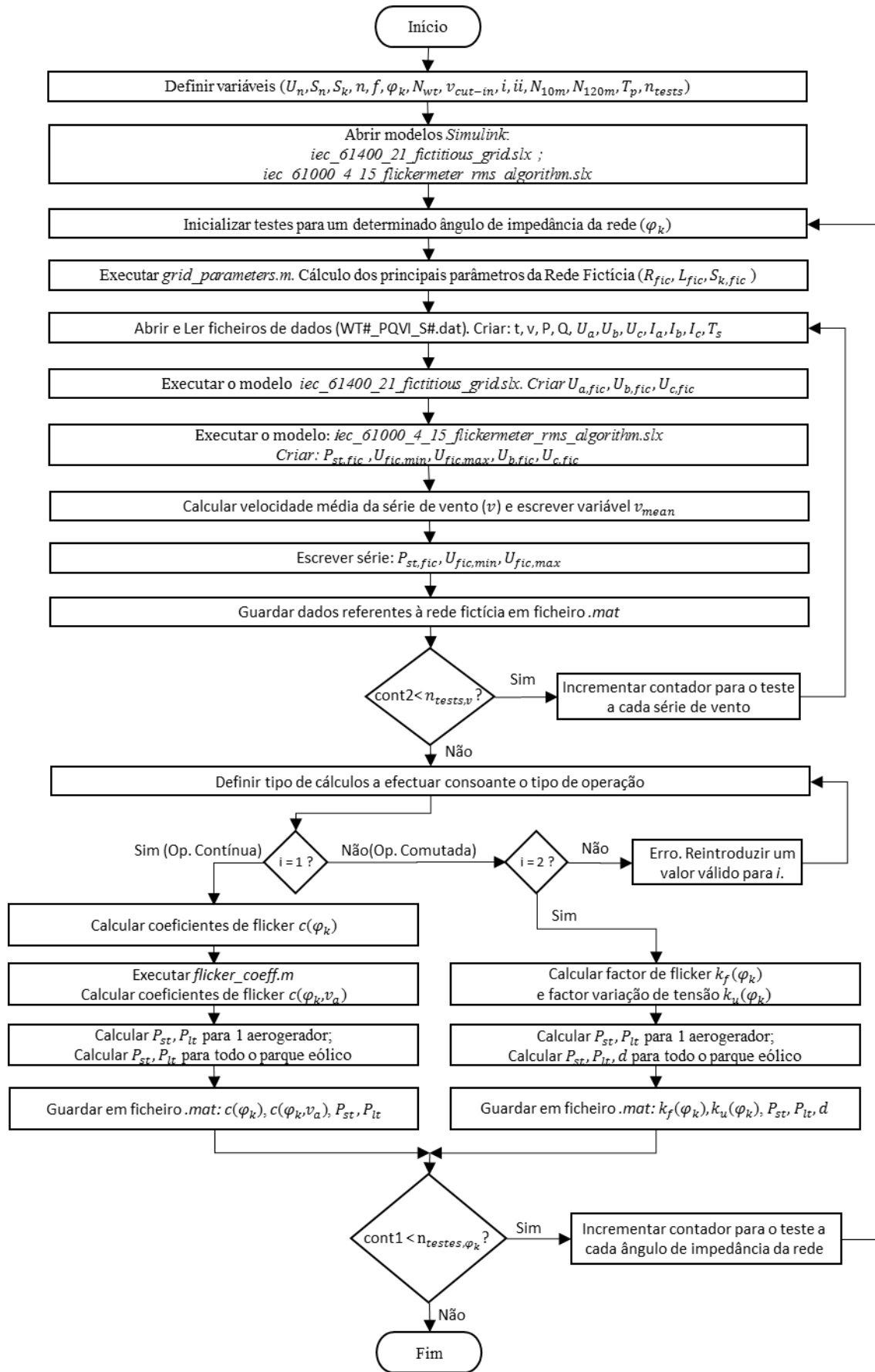
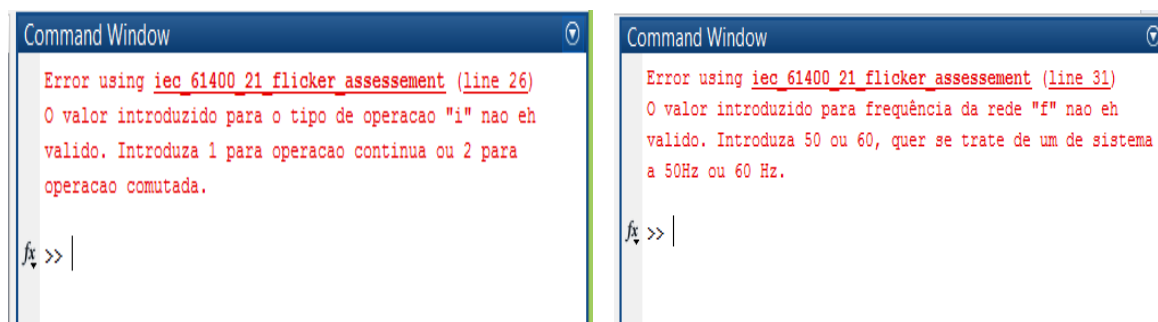


Figura 7.1 - Fluxograma da função principal flicker\_assessment.m

Na eventualidade de o programa receber valores não desejados para os parâmetros acima mencionados, nomeadamente na escolha dos valores de frequência (50 ou 60 Hz) ou do tipo de operação (1 ou 2), é apresentado um erro que impossibilita a continuação do programa, sendo requerida a reintrodução de um valor admissível para que este possa reiniciar correctamente (Figura 7.2).



**Figura 7.2 – Exemplificação dos alertas obtidos com a introdução de valores não desejados**

Na leitura dos ficheiros pretendidos para a simulação, cabe ao utilizador a definição do directório onde os ficheiros se situam. Cada ficheiro do tipo *.dat* assume o nome *WT#\_PQVI\_S#*, onde o primeiro # se refere a um aerogerador específico situado num eventual parque eólico e o segundo # ao número do ficheiro. É apresentado na Figura 7.3, um excerto de um dos ficheiros utilizados no capítulo seguinte. Pretende-se, com o mesmo, ilustrar a tipologia utilizada na disposição dos dados em cada ficheiro.

WT1_PQVI_S24										
WT1_PQVI_S24 <3000001x10 double>										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200001	40	7.4877	0.5168	5.7873	-7.6738	-485.2766	492.9504	15.2533	520.0456	-535.2989
200002	40.0002	7.4879	0.5168	5.7898	27.8038	-502.4675	474.6637	-23.0315	538.9657	-515.9342
200003	40.0004	7.4876	0.5168	5.7922	63.1717	-517.6754	454.5038	-61.2239	555.7584	-494.5345
200004	40.0006	7.4872	0.5168	5.7947	98.2902	-530.8403	432.5502	-99.1731	570.3575	-471.1844
200005	40.0008	7.4869	0.5168	5.7972	133.0208	-541.9103	408.8895	-136.7295	582.7054	-445.9759
200006	40.0010	7.4865	0.5168	5.7997	167.2265	-550.8417	383.6152	-173.7448	592.7536	-419.0088
200007	40.0012	7.4862	0.5168	5.8021	200.7722	-557.5991	356.8270	-210.0729	600.4624	-390.3894
200008	40.0014	7.4859	0.5168	5.8046	233.5255	-562.1561	328.6305	-245.5707	605.8015	-360.2309
200009	40.0016	7.4855	0.5168	5.8071	265.3572	-564.4945	299.1372	-280.0979	608.7501	-328.6521
200010	40.0018	7.4852	0.5168	5.8096	296.1418	-564.6051	268.4633	-313.5185	609.2965	-295.7780
200011	40.0020	7.4849	0.5167	5.8120	325.7575	-562.4875	236.7300	-345.7006	607.4387	-261.7381
200012	40.0022	7.4845	0.5167	5.8145	354.0877	-558.1502	204.0624	-376.5172	603.1841	-226.6669
200013	40.0024	7.4842	0.5167	5.8170	381.0205	-551.6101	170.5895	-405.8469	596.5496	-190.7028
200014	40.0026	7.4838	0.5167	5.8195	406.4496	-542.8931	136.4434	-433.5739	587.5616	-153.9878
	Tempo (s)	Velocidade vento (m/s)	Potência Activa (MW)	Potência Reactiva (kVAr)	Tensão (V)			Corrente (A)		

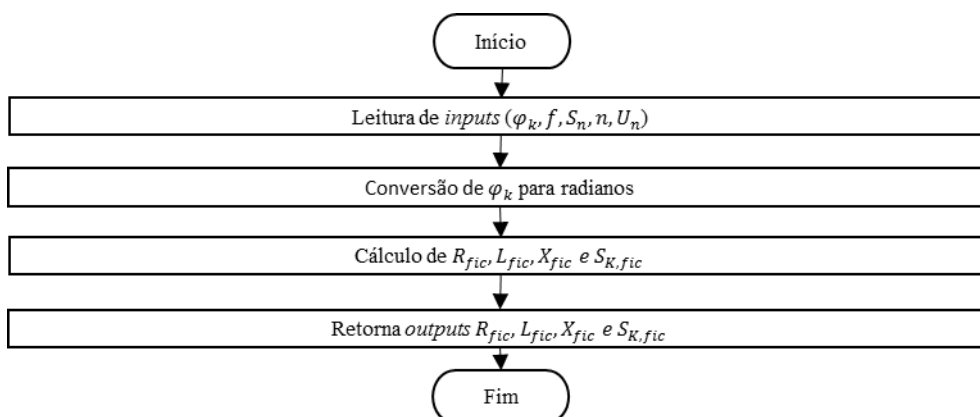
**Figura 7.3 – Organização dos dados do ficheiro *WT1\_PQVI\_S24.dat***

Cada ficheiro é formado por um total de 10 séries temporais dispostas por 10 colunas. A 1ª é referente à série de tempo propriamente dita (s), a 2ª à velocidade de vento (m/s) e as 3ª e 4ª às Potências Activa (MW) e Reactiva (kVAr), respectivamente. As colunas 5 a 7 são reservadas às séries de Tensão (V) para cada uma das três fases e, por fim, as 3 últimas colunas são destinadas às séries de Corrente (A) em cada uma das três linhas.

A Figura 7.4 ilustra o processo para a obtenção das potência aparente,  $S_{k,fic}$ , resistividade,  $R_{fic}$ , e indutância,  $L_{fic}$ , da rede fictícia. Estes são os principais parâmetros necessários para efectuar a simulação da mesma. Apesar de ser aparentemente simples, é de uma extrema importância uma vez que o cálculo errado destes parâmetros influencia negativamente o cálculo das séries temporais de tensão da rede fictícia e, consequentemente, do valor de  $P_{st}$  obtido.

**Tabela 7.2 - Apresentação sumária da função *grid\_parameters.m***

<b>Nome da função</b>	<i>grid_parameters.m</i>
<b>Descrição</b>	Calcular os principais parâmetros da rede fictícia
<b>Inputs</b>	$\psi_k, f, S_n, n, U_n$
<b>Outputs</b>	$R_{fic}, L_{fic}, X_{fic}, S_{k,fic}$
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.4



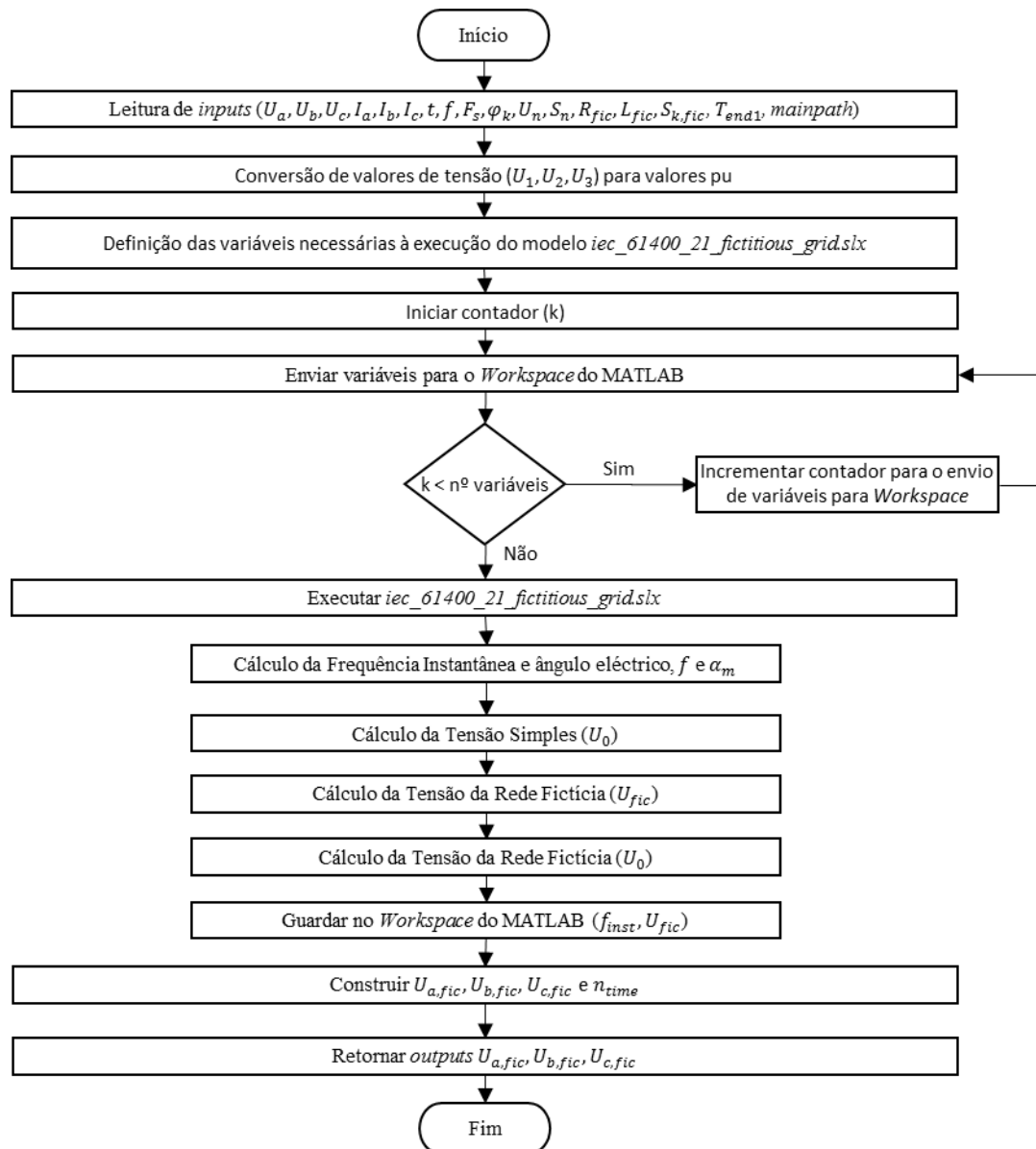
**Figura 7.4 – Fluxograma da função *grid\_parameters.m***

O fluxograma apresentado na Figura 7.5 ilustra o processo a realizar para a simulação da rede fictícia. Os argumentos de entrada  $U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c$  dizem respeito as séries temporais trifásicas de tensão e de corrente, medidas aos terminais do aerogerador. Os *outputs* desta função:  $U_{a,fic}, U_{b,fic}, U_{c,fic}$ . De referir que os valores de tensão precisam de ser obrigatoriamente convertidos para valores pu. Tal necessidade prende-se ao facto de o método adoptado para o cálculo da frequência instantânea ( $f(t)$ ) - necessária à obtenção do ângulo eléctrico ( $\alpha_m(t)$ ) - assim o exigir. Optou-se pela aplicação de um PLL<sup>15</sup>, uma vez que se trata de uma ferramenta disponível numa das bibliotecas do próprio *Simulink*.

<sup>15</sup> Sigla do termo anglo-saxónico *Phase-Locked-Loop*

Tabela 7.3 - Apresentação sumária da função *fictitious\_grid.m*

<b>Nome da função</b>	<i>fictitious_grid.m</i>
<b>Descrição</b>	Calcular os parâmetros principais da rede fictícia
<b>Inputs</b>	$U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c, t, f, f_s, \psi_k, U_n, S_n, R_{fic}, L_{fic}, S_{k,fic}, T_{end1}, mainpath$
<b>Outputs</b>	$U_{a,fic}, U_{b,fic}, U_{c,fic}, ntime$
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.5

Figura 7.5 – Fluxograma da função *fictitious\_grid.m*

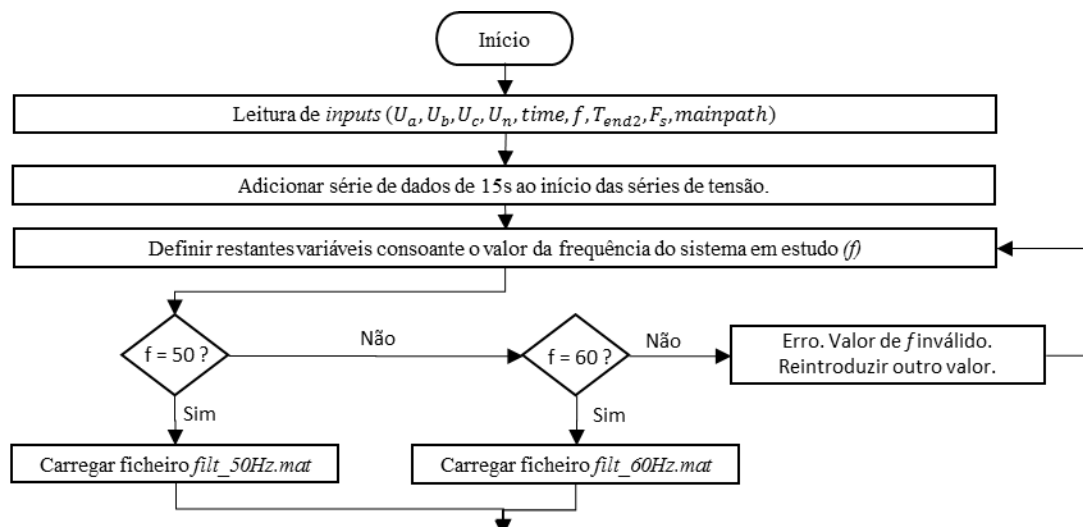
É nesta parte do programa que é executado o modelo *iec\_61400\_21\_fictitious\_grid.slx* referente à simulação da tensão da rede fictícia de acordo com a norma IEC 61400-21. O respectivo diagrama de blocos desenvolvido em *Simulink* encontra-se disponível para consulta no Anexo II.

De seguida é iniciada a função que é sumariamente apresentada na Tabela 7.4. O objectivo da mesma consiste no cálculo de  $P_{st}$  - tal como requerido pela norma IEC 61000-4-15 - e dos valores de  $RMS$  máximo e mínimo da tensão fictícia, obtidos da função anterior. Consoante a frequência do sistema eléctrico em estudo (50 ou 60Hz) é carregado o ficheiro *filt\_50Hz.mat* ou *filt\_60Hz.mat*, e atribuído o valor ao filtro passa-alto do bloco 3. Analogamente, de acordo com o tipo de tensão (120 ou 230V) é carregado o ficheiro *const\_120V.mat* ou *const\_230V.mat* e atribuído o valor às variáveis do filtro de ponderação do bloco 3.

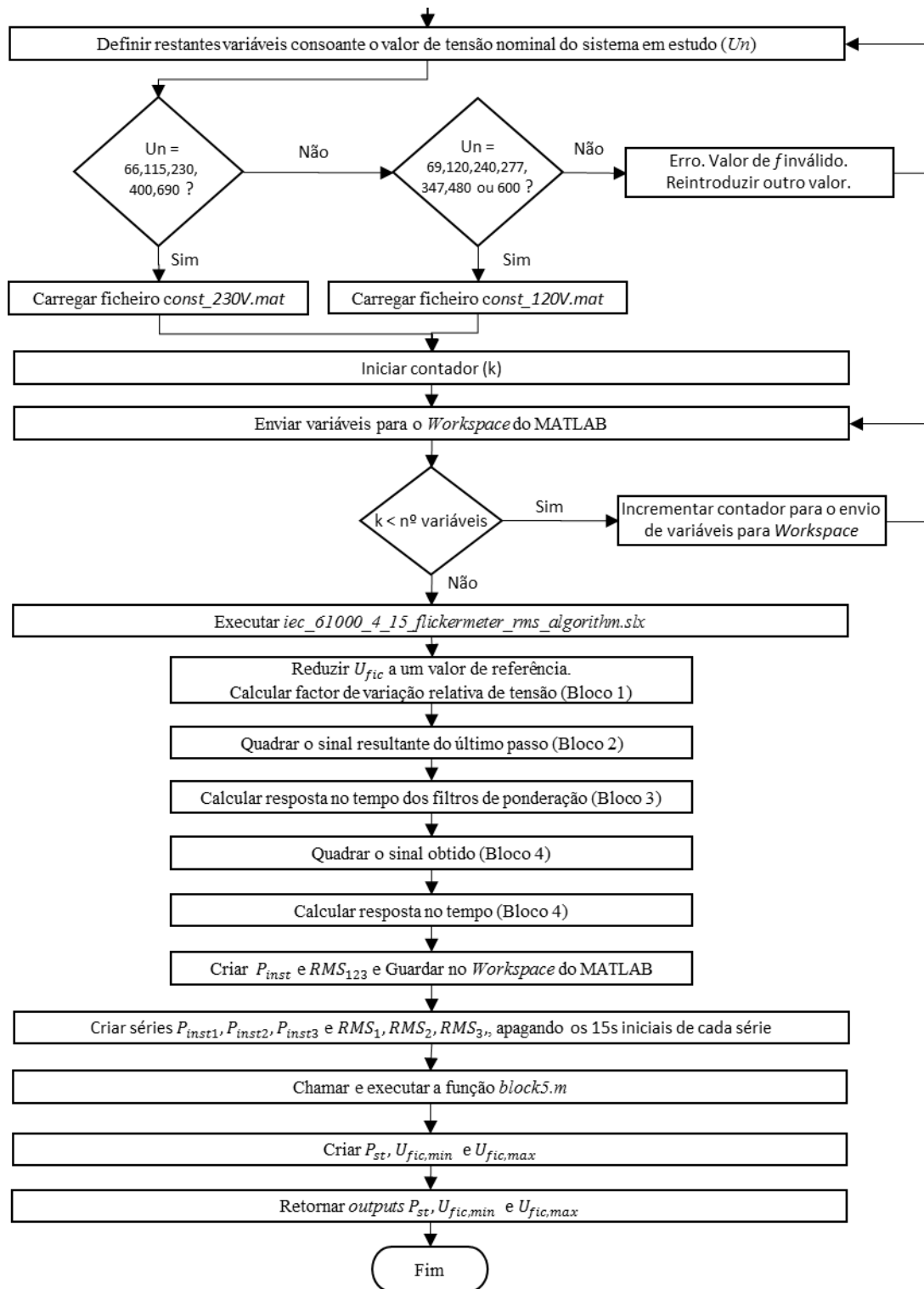
**Tabela 7.4 - Apresentação sumária da função *flickermeter\_rmsmeter.m***

<b>Nome da função</b>	<i>flickermeter_rmsmeter.m</i>
<b>Descrição</b>	Calcular o valor de flicker de curta duração e os valores eficazes máximos e mínimos da tensão da rede fictícia
<b>Inputs</b>	$U_{afic}$ , $U_{bfic}$ , $U_{cfic}$ , $U_n$ , $time$ , $f$ , $T_{end2}$ , $F_s$ , $mainpath$
<b>Outputs</b>	$P_{st}$ , $U_{fic\_min}$ , $U_{fic\_max}$ , $P_{inst1}$ , $P_{inst2}$ , $P_{inst3}$ , $RMS1$ , $RMS2$ , $RMS3$
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.6 e Figura 7.7

É executado o modelo *iec\_61000\_4\_15\_flickermeter\_rms\_algorithm.slx*. Em termos práticos, os blocos 1, 2, 3 e 4 do *flickermeter* foram implementados em ambiente *Simulink*, utilizando-se blocos de funções já disponíveis nas respectivas bibliotecas. Devido ao carácter diferenciado do bloco 5, este é implementado através de linhas de código e executado posteriormente através da função *block5.m*, apresentada em seguida. É de referir que, apesar de o cálculo da série temporal de  $RMS$  instantâneo ser apenas requerido para a avaliação de *flicker* em operação comutada, optou-se por aproveitar o cálculo desta variável, efectuado no bloco 1 para a normalização do sinal, e armazená-lo de imediato para futura utilização. Desta forma, não é necessário de o calcular novamente, poupando assim tempo de simulação. No Anexo III é possível a consulta do modelo do *flickermeter* desenvolvido.



**Figura 7.6 – Fluxograma da função *flickermeter\_rmsmeter.m***



**Figura 7.7 – Fluxograma da função *flickermeter\_rmsmeter.m* (continuação)**

É de referir também que devido à inicialização dos filtros utilizados em todo este modelo, os primeiros 15 segundos não são contabilizados. Este período constitui o período de estabilização dos filtros (Figura 7.8). Esta é a razão pela qual no início desta função são incrementados 15s de dados à série temporal em estudo, por forma a eliminá-los no fim da execução da simulação e estudar apenas a série pretendida sem quaisquer irregularidades.



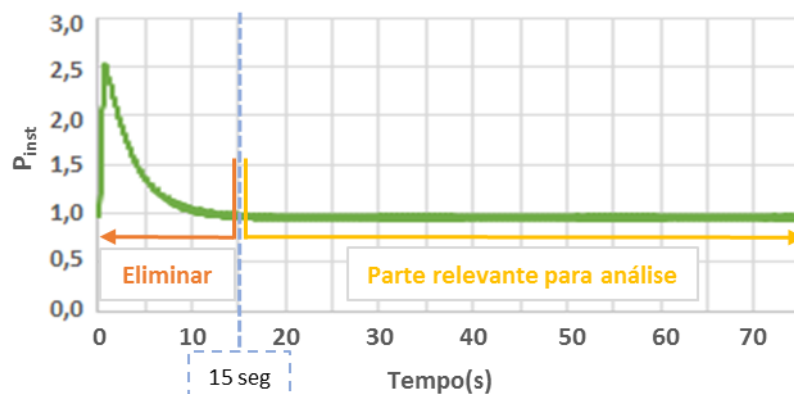


Figura 7.8 - Sinal de saída do bloco 4,  $P_{inst}$ . Exemplificação da obtenção dos dados deste sinal considerados para a análise estatística

É depois executada a função *block5.m* que efectua a análise estatística de  $P_{inst}$  e por fim o valor de  $P_{st}$  que, no contexto em que se insere, trata-se do valor de emissão de flicker da rede fictícia,  $P_{st, fic}$ .

Tabela 7.5 - Apresentação sumária da função *block5.m*

Nome da função	<i>block5.m</i>
Descrição	Calcular factor de emissão de flicker a curto prazo
Inputs	$P_{inst}$
Outputs	$P_{st}$
Fluxograma	Figura 7.9

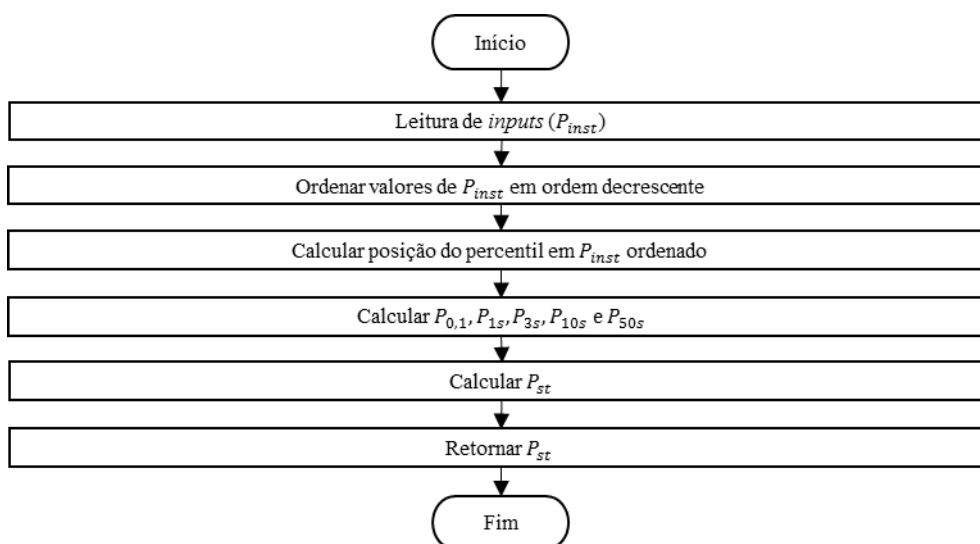
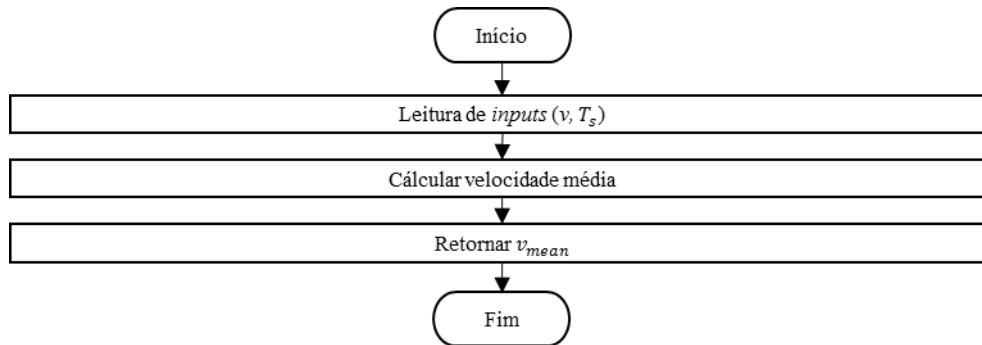


Figura 7.9 – Fluxograma da função *block5.m*

Calcula-se depois a média de velocidade de vento através da função *wind\_mean.m*, apresentada abaixo. Esta função é apenas executada na eventualidade de se tratar de uma avaliação de emissão de flicker em operação contínua. Recebe a série de velocidade de vento ( $v$ ) e o tempo de aquisição de dados ( $T_s$ ) da mesma como *input* e retorna os valores de velocidade média (*vmean*)

Tabela 7.6 - Apresentação sumária da função *wind\_mean.m*

<b>Nome da função</b>	<i>wind_mean.m</i>
<b>Descrição</b>	Calcular velocidade média de uma determinada série de ventos
<b>Inputs</b>	$v, T_s$
<b>Outputs</b>	$v_{mean}$
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.10

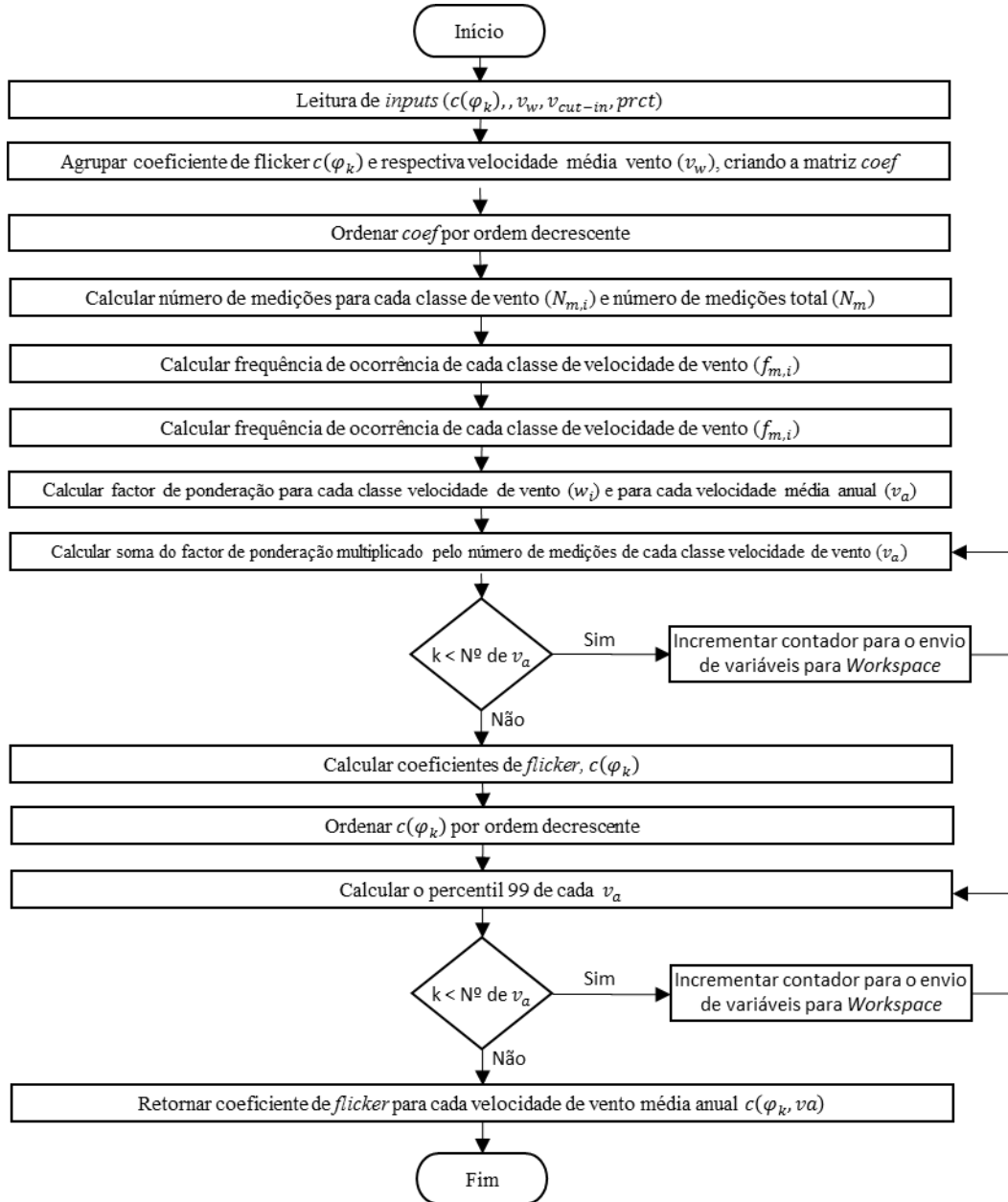
Figura 7.10 –Fluxograma da função *wind\_mean.m*

A última função desenvolvida é a *flicker\_coeff.m*. Esta é responsável pela análise estatística necessária ao cálculo do coeficiente de flicker para avaliação do factor de *flicker* em operação contínua (Tabela 7.7).

Tabela 7.7 - Apresentação sumária da função *flicker\_coeff.m*

<b>Nome da função</b>	<i>flicker_coeff.m</i>
<b>Descrição</b>	Calcular coeficientes de flicker para uma determinada velocidade média anual de vento
<b>Inputs</b>	$P_{st, fic}, v_w, v_{cut-in}, fig$
<b>Outputs</b>	$c(\psi_k, va)$
<b>Fluxograma</b>	Figura 7.11

Os cálculos finais são depois efectuados pela função principal que recebe todos as variáveis que foram calculadas por todas as funções. Consoante o tipo de operação em estudo (contínua ou de comutação) calcula os valores de  $P_{st}$  e  $P_{lt}$  para um aerogerador e para um parque eólico ( $P_{st\Sigma}$  e  $P_{lt\Sigma}$ ), caso o mesmo seja constituído por mais do que um aerogerador.


 Figura 7.11 – Fluxograma da função *flicker\_coeff.m*

### 7.3 Validação do Modelo Desenvolvido

Os testes de validação do modelo do flickermeter desenvolvido no presente trabalho foram realizados de acordo com os requeridos pela norma IEC 61000-4-15. Esta descreve uma metodologia cuja execução é obrigatória para a validação do modelo em causa, por forma a averiguar se o modelo do *flickermeter* foi correctamente implementado. Abaixo são ilustrados os resultados de 2 testes específicos. O primeiro considerando apenas o sinal de saída do bloco 4 do *flickermeter*, que representa a sensação instantânea de flicker ( $P_{inst}$ ), e o segundo considerando- o do valor de saída do bloco 5v, de  $P_{st}$  (emissão de flicker a curto prazo). No primeiro a precisão exigida é de  $P_{inst} = 1 \pm 8\%$  e no segundo é de  $P_{st} = 1 \pm 5\%$ .

A validação passa pela realização de alguns ensaios utilizando sinais sinusoidais e rectangulares, modulados em frequência ( $f_m$ ) e amplitude ( $a_m$ ) e recorrendo a valores como os apresentados na Tabela 7.8. O método para modular estes sinais é disponibilizado pela referida norma, e passa pela utilização da expressões (7.1) e (7.2) quer se trate, respectivamente, de um sinal sinusoidal ou de um sinal rectangular. Estes testes devem ser efectuados para sistemas de 120 e 230V, de 50 e 60 Hz.

$$u(t) = U_n \times \sin(2 \times \pi \times f \times t) \times \left\{ 1 + a_m \times \frac{1}{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_m \times t) \right\} \quad (7.1)$$

$$u(t) = U_n \times \sin(2 \times \pi \times f \times t) \times \left\{ 1 + a_m \times \frac{1}{2} \times \text{signum}[\sin(2 \times \pi \times f_m \times t)] \right\} \quad (7.2)$$

onde,

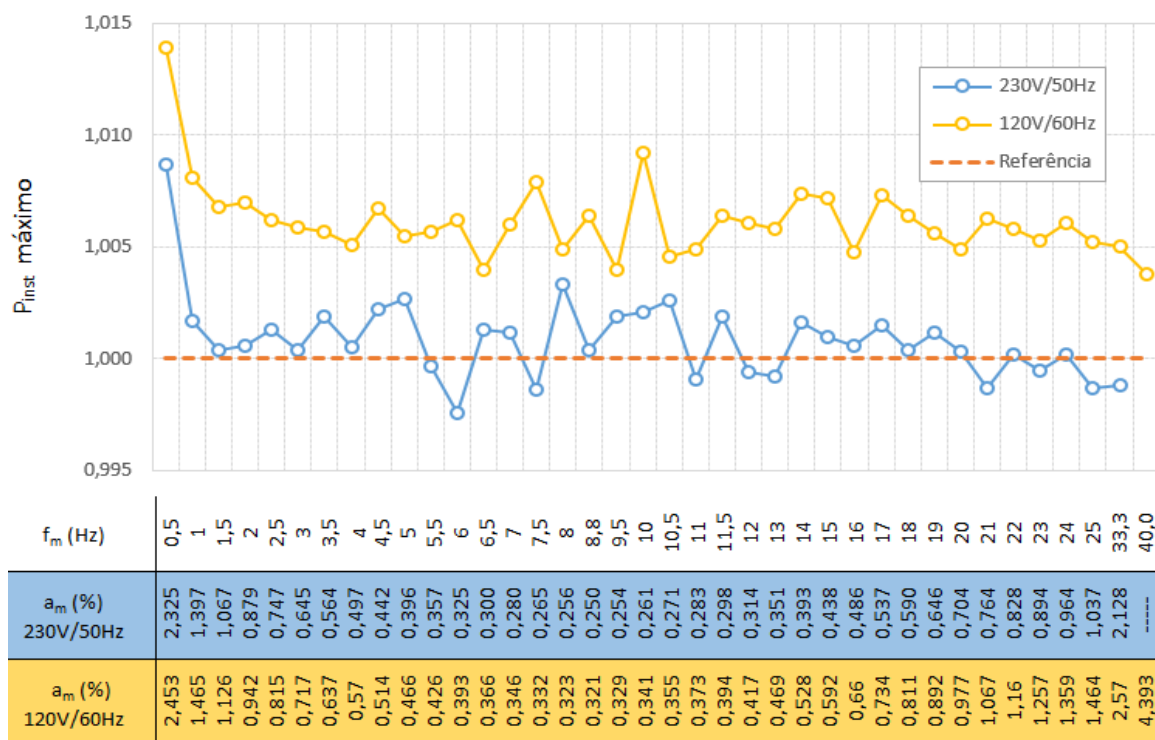
- $U_n$ , é o valor RMS da tensão do sistema em estudo (120 e 230V);
- $f$ , é a frequência da onda portadora (50 e 60 Hz);
- $a_m$ , é a amplitude de modulação;
- $f_m$ , é a frequência de modulação.

**Tabela 7.8 – Valores de modulação  $f_m$  e  $a_m$  que garantem um valor unitário para a sensação máxima de flicker ( $P_{inst}$ ) para os testes de variação de tensão com onda moduladora sinusoidal.**

$f_m$ (Hz)	Variação de tensão - $a_m$ (%)		$f_m$ (Hz)	Variação de tensão - $a_m$ (%)	
	230V/ 50Hz	120V/ 60Hz		230V/ 50Hz	120V/ 60Hz
0,5	2,325	2,453	10,5	0,271	0,355
1,0	1,397	1,465	11,0	0,283	0,373
1,5	1,067	1,126	11,5	0,298	0,394
2,0	0,879	0,942	12	0,314	0,417
2,5	0,747	0,815	13	0,351	0,469
3,0	0,645	0,717	14	0,393	0,528
3,5	0,564	0,637	15	0,438	0,592
4,0	0,497	0,570	16	0,486	0,660
4,5	0,442	0,514	17	0,537	0,734
5,0	0,396	0,466	18	0,590	0,811
5,5	0,357	0,426	19	0,646	0,892
6,0	0,325	0,393	20	0,704	0,977
6,5	0,300	0,366	21	0,764	1,067
7,0	0,280	0,346	22	0,828	1,160
7,5	0,265	0,332	23	0,894	1,257
8,0	0,256	0,323	24	0,964	1,359
8,8	0,250	0,321	25	1,037	1,464
9,5	0,254	0,329	33,3	2,128	2,570
10,0	0,261	0,341	40		4,393

Na Figura 7.12 é apresentado o resultado obtido para dois dos testes realizados. Respeitando a precisão de  $\pm 8\%$ , os valores da resposta normalizada de saída do bloco 4 devem de se situar no intervalo  $[0.92 ; 1.08]$ . Como se pode observar, no referido caso os valores mantêm-se dentro do intervalo

requerido, provando a correcta implementação do modelo necessário à avaliação da qualidade de energia.

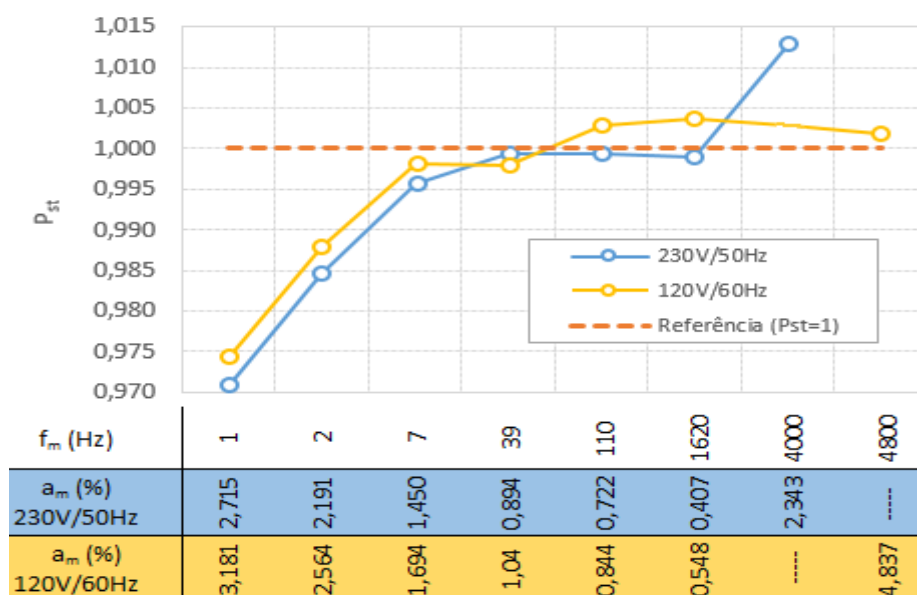


**Figura 7.12 – Resultados dos testes de validação para variações de tensão sinusoidais. Sistemas de 230V/50Hz e 120V/60Hz.**

Para os testes de validação considerando-se o valor de  $P_{st}$ , resultante da saída do bloco 5 do *flickermeter*, é estabelecido um teste baseado nos valores de variações rectangulares por minuto e variações de tensão ( $a_m$ ) indicadas na Tabela 7.9. A utilização destes valores resulta no gráfico da Figura 7.13 e, como é possível constatar, os resultados encontram-se dentro do intervalo de precisão requerido pela norma.

**Tabela 7.9 – Valores utilizados no teste de validação do modelo *flickermeter*, para uma lâmpada de 230V num sistema eléctrico de 50 Hz, e de uma lâmpada de 120V num sistema de 60Hz.**

Variações rectangulares por minuto ( $f_m$ )	$a_m$ (%) 230V/50Hz	$a_m$ (%) 120V/60Hz
1	2,715	3,181
2	2,191	2,564
7	1,45	1,694
39	0,894	1,04
110	0,722	0,844
1620	0,407	0,548
4000	2,343	-----
4800	-----	4,837



**Figura 7.13 – Resultados do teste de validação para o indicador  $P_{st}$ , para lâmpadas de 230 e 120V em sistemas de 50 e 60 Hz, respectivamente.**

Todos os resultados obtidos dos restantes testes para as diversas condições (lâmpada de 120 e 230V para um sistema eléctrico de 50 e 60 Hz) estão tabelados no Anexo I Anexo III. Uma vez que todos eles se encontram dentro dos parâmetros exigidos pela norma IEC 61000-4-15, pode-se afirmar que o mesmo foi implementado correctamente, constituindo uma ferramenta para a aferição do cálculo deste parâmetro da qualidade de energia que é o *flicker*.

## 8. Caso de Estudo e Análise de Resultados

### 8.1 Introdução

Nesta secção, a utilização do modelo introduzido no Capítulo 7 é o objectivo principal. Com esse propósito, é apresentado um caso de estudo com múltiplos cenários, nos quais se pretende investigar a influência de diversos parâmetros na avaliação da qualidade de energia eléctrica entregue à rede por parques eólicos. A análise e discussão de resultados é também parte do conteúdo do oitavo capítulo.

Tratando-se de um caso de estudo idílico, foi desenvolvido um outro modelo dinâmico de um parque eólico com ligação a uma rede eléctrica. A partir deste, são simulados os dados que servem como argumentos de entrada exigidos por uma das normas apresentadas, nomeadamente séries temporais trifásicas de corrente e tensão, obtidas aos terminais da turbina eólica. Este último modelo é também apresentado e descrito nesta secção do documento. Os resultados obtidos tanto pelo modelo do parque eólico construído como pelo modelo de avaliação da QEE são também comentados.

### 8.2 Modelo dinâmico da Ligação do Parque Eólico à Rede Eléctrica

Os elementos considerados para a construção deste modelo foram aplicados tendo em linha de conta a caracterização típica da ligação de um parque eólico a uma rede eléctrica. Tendo sido o mesmo desenvolvido em ambiente *Simulink*, o recurso aos blocos das bibliotecas deste mesmo programa (em especial os da biblioteca *SimPowerSystems*) constituiu um excelente apoio na criação do modelo. Apesar da sua utilização directa e aparentemente simples, a sua implementação requer conhecimentos na área de sistemas eléctricos para um melhor aproveitamento da capacidade de cálculo dos mesmos.

O esquema do modelo desenvolvido é apresentado sumariamente na Figura 8.1. Trata-se de uma representação de um parque eólico de 24 MW (2MWx12) de capacidade instalada, conectado a uma rede infinita de tensão nominal 60 kV. Nesta mesma os valores de impedância  $R + jX$  e capacidade são passíveis de variação, uma vez que o referido modelo permite a execução de diferentes ensaios, consoante os valores dos ângulos de impedância de curto-circuito ( $\psi_k$ ) e de razão de curto-circuito ( $R_{sc}$ ) que se pretendam, eventualmente, estudar.

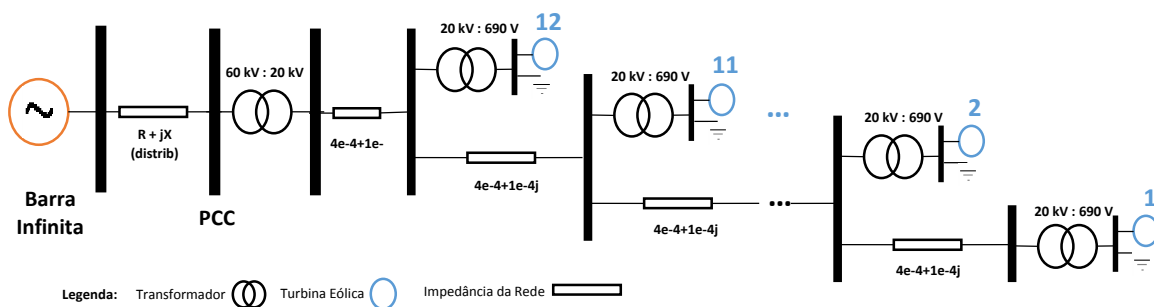
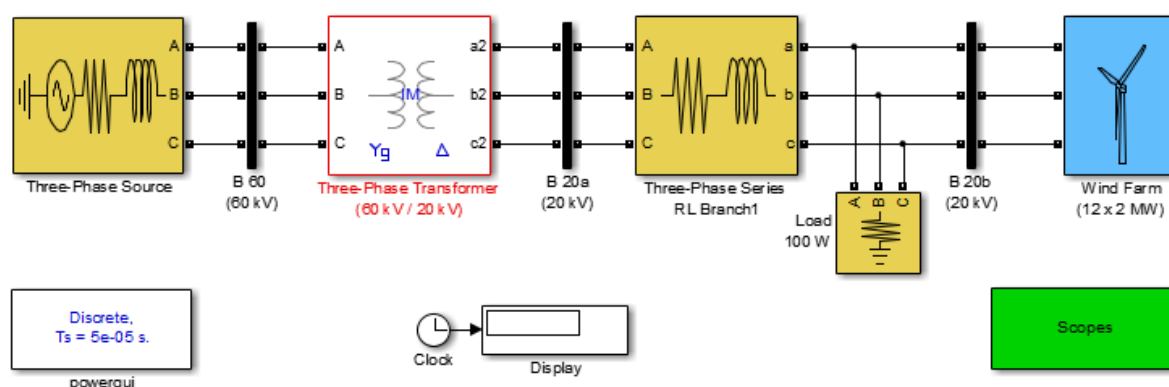


Figura 8.1 – Esquema da do modelo de ligação do parque eólico à rede eléctrica

Na mesma figura, a barra PCC ilustra o ponto de ligação da rede com o referido parque eólico constituído por 12 turbinas eólicas do tipo DFIG<sup>16</sup> (2 MW cada) ligadas em série e distanciadas equitativamente 200 m umas das outras. A tensão aos terminais das turbinas é 690V, sendo depois elevada para a tensão interna do parque, cujo valor é 20 kV - com recurso a transformadores elevadores – e, em seguida, para a tensão da rede a que o parque está conectado, 60 kV (Figura 8.2). O Anexo IV aprofunda a disposição do interior do bloco “*Wind Farm (12x2MW)*”, permitindo uma melhor compreensão da ligação das turbinas dentro do parque eólico. De referir que o modelo da turbina utilizada faz parte de uma das bibliotecas padrão do *Simulink* [40].



**Figura 8.2 – Ilustração geral do modelo desenvolvido do parque eólico ligado à rede eléctrica**

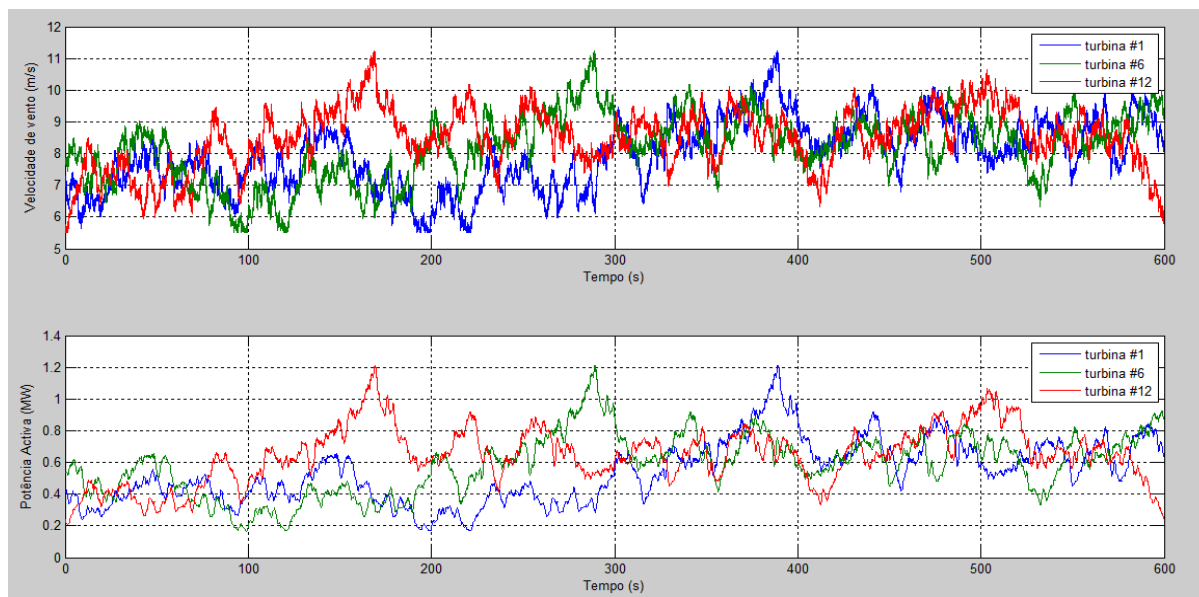
O modelo permite a criação de uma rotina (com recurso a um *script* auxiliar) que recebe como argumento de entrada séries temporais de vento, por forma a simular a produção de energia eléctrica. A partir de um programa de simulação específico - próprio para o referido caso [41] - foi criada inicialmente uma série temporal de vento. Esta mesma série foi de imediato associada ao vento incidente na turbina eólica #1 (ver Anexo IV). Posteriormente, esta mesma série de dados foi alvo de sucessivos desfasamentos por forma a obter dados de vento para as restantes 11 turbinas do parque eólico. Na Figura 8.3 estão ilustradas 3 séries de vento das turbinas eólicas #1, #6 e 12# do parque e respectiva potência activa obtida, onde é possível constatar a semelhante variação entre ambas como referido nos primeiros capítulos deste trabalho.

É de referir também que no decorrer da simulação o valor do tempo de aquisição de dados ( $T_s$ ) é de  $5 \times 10^{-5}$  segundos, ou seja, uma frequência de amostragem de 20000 Hz. Um valor inferior resulta num desempenho negativo do modelo e na obtenção de séries temporais de corrente e tensão que não correspondem ao desejado. No entanto, aquando do armazenamento dos resultados obtidos, o intervalo de tempo para a aquisição de dados,  $T_s$ , é reduzido para  $2 \times 10^{-4}$  segundos, ou seja, 5000 Hz de

<sup>16</sup> Sigla do termo anglo-saxónico *Double Fed Induction Generator*

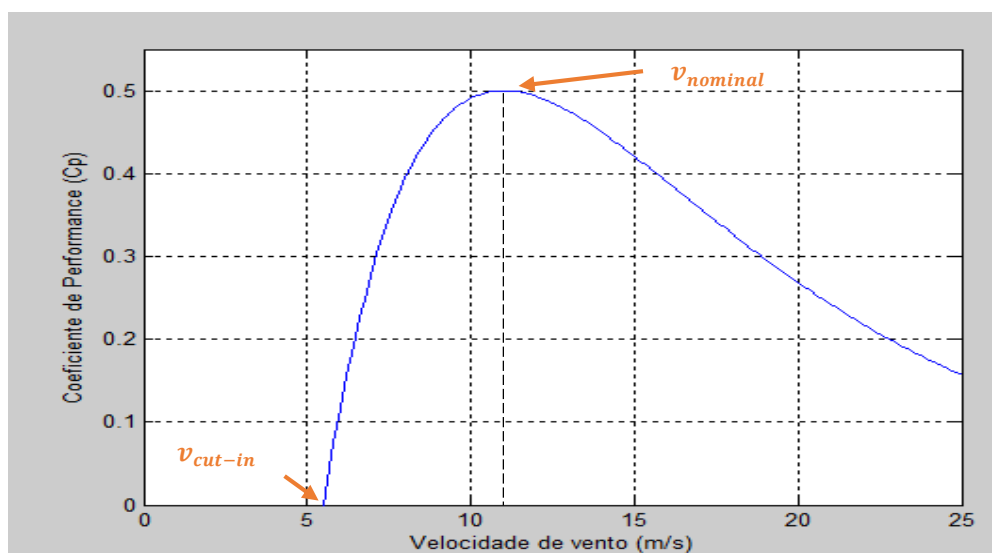


frequência de aquisição – o mínimo exigido pela norma IEC 61400-21 é de 2000 Hz. Os dados são guardados em conformidade com a tipologia ilustrada anteriormente na Figura 7.3.



**Figura 8.3 – Séries de vento e respectivas potências activa obtidas.**

Um dos aspectos a considerar na avaliação do fenómeno de *flicker* passa pelo conhecimento do valor da velocidade de arranque da turbina eólica. Atendendo à Figura 8.4 (disponibilizada pelo próprio modelo da turbina no *Simulink*) é possível verificar que o coeficiente de performance ( $C_p$ ) é nulo até à velocidade de 5,4 m/s, aproximadamente, sendo este o valor da velocidade de arranque da turbina. Outro valor importante a retirar a partir da mesma figura é o valor da velocidade nominal, ou seja, velocidade de vento para a qual a turbina atinge um  $C_p$  máximo. O mesmo corresponde a 11 m/s.



**Figura 8.4 – Coeficiente de Performance da turbina eólica utilizada em função da velocidade de vento – adaptado de [40].**

A importância destes valores reside no facto de que a avaliação do *flicker* é feita, em avaliação contínua, para séries de velocidade de vento médias compreendidas entre a velocidade de arranque e os 15 m/s. Para a operação de comutação, é efectuada para as velocidades de arranque e nominal da turbina. Foram assim processadas um total de 53 séries de 10 minutos cada de velocidades de vento (médias) desde os 5,4 aos 15 m/s para a avaliação da QEE em operação contínua e 20 séries de vento de 1 minuto cada para o mesmo propósito mas em operação de comutação. Neste último, 10 séries estão associadas à operação de comutação à velocidade de arranque e as restantes 10 à operação de comutação à velocidade nominal. As séries trifásicas de tensão e corrente geradas pelas turbinas serão *inputs* do modelo desenvolvido para a aferição dos parâmetros de *flicker*. A turbina eólica #1 foi a escolhida para proceder à análise da QEE, que é apresentada no subcapítulo seguinte, para os diferentes cenários.

### 8.3 Avaliação da QEE - Emissão de *flicker*

Como referido no início deste capítulo, o caso de estudo centra-se na investigação de diversos parâmetros na aferição da QEE entregue à rede por parques eólicos. Um dos parâmetros a estudar é a influência da razão de curto-circuito ( $R_{sc}$ ). O outro é a influência da configuração da rede eléctrica a que o parque está ligado ( $\psi_k$ ). O estudo é realizado para um cenário base com  $R_{sc} = 24$  e para outros 2 cenários, fazendo sempre variar este último parâmetro (Tabela 8.1).

**Tabela 8.1 – Cenários analisados neste trabalho**

Cenários	Razão de curto-circuito ( $R_{sc}$ )
Cenário 1 (base)	24
Cenário 2	12
Cenário 3	8

Pretende-se, em particular, obter os valores dos coeficientes de *flicker*, que são influenciados também pela velocidade média anual -  $c(\psi_k, v_a)$  – e os parâmetros  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$ , indicadores da existência de variações de tensão. O estudo é efectuado para os ângulos de impedância de curto-circuito referidos na norma (30°, 50°, 70°, 85°) para os 2 tipos de operação. É também efectuado, em particular, para as velocidades de vento médias anuais,  $v_a$ , 6, 7,5, 8,5 e 10 m/s na avaliação em operação contínua. Uma vez que não são conhecidos os números de operações de comutação em 10 min e 2 horas,  $N_{10m}$  e  $N_{120m}$  respectivamente, assumem-se os valores recomendados pela norma (Tabela 8.2).

**Tabela 8.2 – Número de operações de comutação a utilizar**

	Velocidade de arranque	Velocidade nominal
$N_{10m}$	10	1
$N_{120m}$	120	12

As características da turbina eólica utilizada são as seguintes (Tabela 8.3):

Tabela 8.3 – Valores nominais da turbina eólica utilizada

Potência, $P_n$ (kW)	2000
Velocidade nominal, $v_n$ (m/s)	11
Potência Aparente, $S_n$ (kVA)	2222
Corrente, $I_n$ (A)	1860
Tensão nominal aos terminais da Turbina, $U_n$ (V)	690
Frequência fundamental da Rede, $f_n$ (Hz)	50

### 8.3.1 Cenário 1 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 24$

Nesta secção, que contempla o cenário base, é utilizado um valor de razão de curto-circuito de 24. Relembrando o conteúdo da, trata-se de um valor que é característico de uma rede forte, à qual é possível efectuar a ligação de uma central eólica com, reduzidas preocupações no que diz respeito ao perfil de tensões da rede local.

Para calcular os coeficientes de flicker,  $c(\psi_k, v_a)$ , é necessário proceder à avaliação estatística previamente introduzida no Capítulo 6.2.2. Os resultados obtidos a partir deste procedimento podem ser consultados no Anexo V. Os mesmos, que dizem respeito aos valores dos coeficientes de flicker,  $c(\psi_k)$ , em função da velocidade média de vento, encontram-se dispostos de maneira semelhante à usada pela Norma IEC 61400-21 no Anexo B.3. Com esta informação, foi possível a elaboração do gráfico abaixo (Figura 8.5).

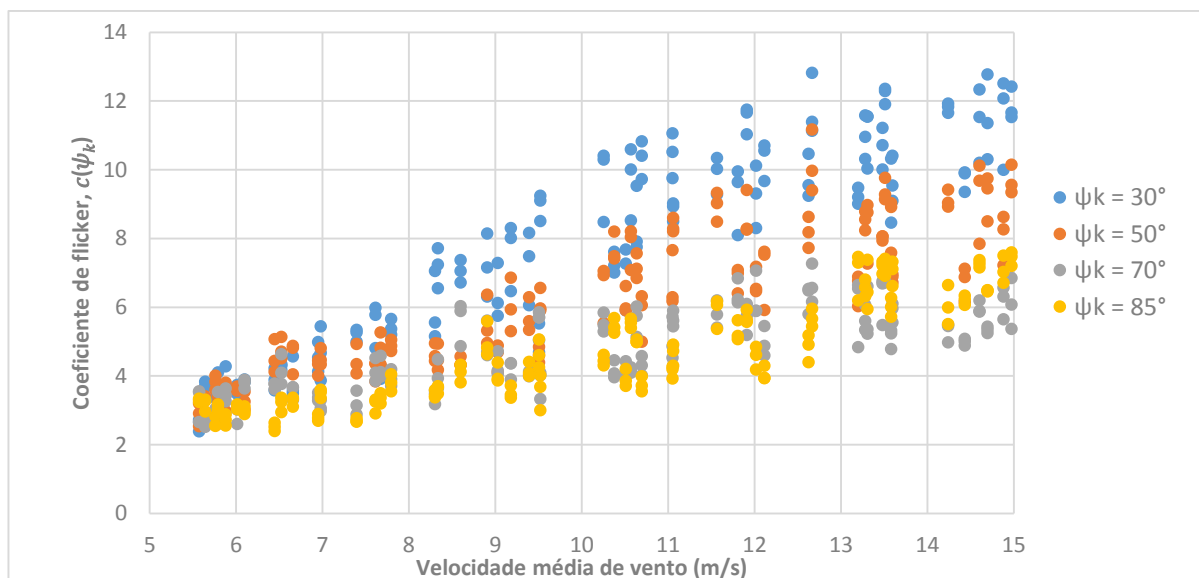


Figura 8.5 – Coeficientes de flicker  $c(\psi_k)$  em função da respectiva velocidade média de vento para os 4 diferentes ângulos de impedância de curto-circuito ( $\psi_k$ ). Cenário 1 –  $R_{sc} = 24$

Em geral, independentemente do valor do ângulo de impedância da rede, o valor dos coeficientes  $c(\psi_k)$  é tanto maior quanto maior for a velocidade média de vento. Partindo destes valores, os coeficientes de flicker em função da velocidade média anual de vento,  $c(\psi_k, v_a)$ , são obtidos determinando o percentil

99 da distribuição acumulada ponderada de todos os coeficientes. Na tabela que segue é apresentada uma pequena fracção da distribuição obtida para  $\psi_k = 30^\circ$ , com particular destaque para os valores de coeficiente de flicker e para as velocidades de vento média correspondentes ao percentil 99, obtidos para cada uma das 4 velocidades de vento médias anuais em estudo.

**Tabela 8.4 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ ,  $\psi_k = 30^\circ$ ).**

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
12,8137	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12,7687	14,6972	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>12,5093</b>	<b>14,8827</b>	0,9987	0,9964	0,9947	<b>0,9925</b>
<b>12,4106</b>	<b>14,9761</b>	0,9981	0,9946	<b>0,9921</b>	0,9888
12,3488	13,5108	0,9972	0,9924	0,9892	0,9851
<b>12,3301</b>	<b>14,6049</b>	0,9965	<b>0,9906</b>	0,9866	0,9814
12,2858	13,5108	0,9956	0,9885	0,9837	0,9777
12,0650	14,8827	0,9950	0,9867	0,9811	0,9739
11,9200	14,2411	0,9943	0,9849	0,9784	0,9702
11,8995	13,5108	0,9934	0,9827	0,9756	0,9665
<b>11,8241</b>	<b>14,2411</b>	<b>0,9928</b>	0,9809	0,9729	0,9628
11,7456	11,9132	0,9895	0,9758	0,9671	0,9562
11,6633	11,9132	0,9862	0,9707	0,9612	0,9497
...	...	...	...	...	...

Os valores de  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$ , calculados para cada uma das 3 fases, encontram-se tabelados para consulta no Anexo VI. É apresentado na Tabela 8.5 o exemplo desses valores. Os valores finais de  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  para o ângulo de impedância de curto-circuito  $\psi_k = 30^\circ$ , obtêm-se calculando a média dos valores obtidos para as 3 fases. Neste caso particular os factores de flicker e de variação de tensão para  $30^\circ$  são, respectivamente,  $k_f(\psi_k = 30^\circ) = 0,47$  e  $k_u(\psi_k = 30^\circ) = 0,50$ .

**Tabela 8.5 – Factores de flicker e de variação de tensão para  $\psi_k = 30^\circ$  e  $R_{sc} = 24$**

$k_f(\psi_k = 30^\circ)$			$k_u(\psi_k = 30^\circ)$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,475	0,737	0,503	0,197	0,199	0,197
0,270	0,291	0,724	0,184	0,186	0,184
0,594	0,251	0,412	0,524	0,524	0,526
0,518	0,367	0,191	0,863	0,862	0,864
0,406	0,693	0,448	0,568	0,566	0,566
0,270	0,289	0,722	0,530	0,529	0,529
1,474	0,251	0,405	0,431	0,430	0,428
0,512	0,368	0,192	0,304	0,302	0,303
0,376	0,677	0,416	0,627	0,629	0,626
0,272	0,288	0,716	0,799	0,799	0,799
Tabela 8.6					

Uma vez calculados os parâmetros  $c(\psi_k, v_a)$ ,  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  para todos os 4 valores de ângulo de impedância da rede, é possível construir a Tabela 8.6, semelhante à utilizada pela norma IEC 61 400-21, no Anexo A.2 da mesma.

**Tabela 8.6 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para  $R_{sc} = 24$**

<b>Operação Contínua</b>				
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Velocidade média anual de vento, $v_a$ (m/s)	Coeficiente de <i>flicker</i> , $c(\psi_k, v_a)$			
6	11,8	9,4	6,7	7,2
7,5	12,3	10,0	6,8	7,4
8,5	12,4	10,1	6,8	7,5
10	12,5	10,1	7,1	7,5

<b>Operação de Comutação</b>				
Tipo de operação comutada	Arranque à velocidade inicial			
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	10			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	120			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de <i>flicker</i> , $k_f(\psi_k)$	0,470	0,422	0,329	0,352
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	0,503	0,447	0,420	0,427
Tipo de operação comutada	Arranque à velocidade nominal			
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	1			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	12			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de <i>flicker</i> , $k_f(\psi_k)$	0,769	0,456	0,615	0,653
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	1,036	0,923	0,865	0,881

É possível constatar que o coeficiente  $c(\psi_k, v_a)$  é tanto maior quanto maior for a velocidade média anual de vento. Este mesmo coeficiente, no entanto, diminui com o aumento do valor do ângulo de impedância da rede, com excepção do caso em que  $\psi_k = 85^{\circ}$ , pois volta a aumentar ligeiramente. Quanto ao factor de *flicker* e de variação de tensão, a conclusão a retirar é idêntica uma vez que o valor dos mesmos é tanto mais reduzido quanto maior for o ângulo de impedância da rede, exceptuando também o caso em que  $\psi_k = 85^{\circ}$ , já que o valor dos mesmos volta ligeiramente a aumentar.

Nas Tabela 8.7 e Tabela 8.8 são apresentados os valores obtidos de emissão de *flicker* a curto prazo, tanto pelo aerogerador ( $P_{st}$ ) como pelo parque eólico ( $P_{st\Sigma}$ ). A primeira diz respeito aos valores calculados em operação contínua enquanto a segunda em operação comutada. De destacar que em operação contínua o valor dos factores de emissão de *flicker* a longo prazo é dado por  $P_{lt} = P_{st}$  e por  $P_{lt\Sigma} = P_{st\Sigma}$ . Motivo pelo qual é feita referência apenas aos valores de  $P_{st}$ .

Pela observação das mesmas tabelas verifica-se que:

- De um modo geral, os valores de  $P_{st}$  são (tal como os coeficientes de *flicker*) directamente proporcionais ao valor de velocidade média anual de vento.
- O ângulo de impedância de curto-circuito tem influência directa não só no cálculo dos coeficientes  $c(\psi_k)$  como também no de  $P_{st}$ , sendo ambos inversamente proporcionais. A probabilidade de ocorrência de *flicker* é tanto maior quando menor for o ângulo impedância de curto-circuito.

**Tabela 8.7 – Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st\Sigma}$  obtidos, em operação contínua para  $R_{sc} = 24$** 

$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st\Sigma}$
<b>30</b>	6	0,0411	0,1422	<b>70</b>	6	0,0233	0,0809
	7,5	0,0428	0,1483		7,5	0,0238	0,0823
	8,5	0,0431	0,1493		8,5	0,0238	0,0823
	10	0,0434	0,1505		10	0,0245	0,0849
<b>50</b>	6	0,0327	0,1132	<b>85</b>	6	0,025	0,0866
	7,5	0,0346	0,1199		7,5	0,0257	0,0891
	8,5	0,0351	0,1216		8,5	0,0259	0,0897
	10	0,0351	0,1216		10	0,0259	0,0898

**Tabela 8.8 - Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st\Sigma}$  obtidos, em operação de comutação para  $R_{sc} = 24$** 

Arranque à velocidade inicial					Arranque à velocidade nominal				
$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$
<b>30°</b>	0,0600	0,0539	0,0420	0,0449	<b>30°</b>	0,0960	0,0922	0,1839	0,1766
<b>50°</b>	0,0576	0,0517	0,0403	0,0431	<b>50°</b>	0,0336	0,0323	0,0650	0,0624
<b>70°</b>	0,1160	0,1043	0,0814	0,0871	<b>70°</b>	0,0767	0,0737	0,1472	0,1413
<b>85°</b>	0,1114	0,1001	0,0782	0,0836	<b>85°</b>	0,0815	0,0783	0,1563	0,1501

De destacar também que os valores dos factores  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  concernentes à operação comutada no arranque à velocidade nominal são superiores aos obtidos para o mesmo tipo de operação à velocidade inicial. Tal evidência vem reforçar a ideia que a probabilidade de ocorrência de *flicker* aumenta para velocidades de vento superiores, mesmo em operação comutada.

### 8.3.2 Cenário 2 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 12$

Nesta situação, efectuou-se uma redução da razão de curto-circuito para metade do valor do cenário de referência. Quer isto dizer, que a rede eléctrica à qual o parque está ligado ficou mais fraca.

Procedeu-se à medição dos coeficientes  $c(\psi_k, v_a)$  e dos factores  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  da mesma forma e os resultados obtidos estão dispostos de maneira semelhante na tabela abaixo. A variação do valor dos coeficientes é idêntica à do cenário anterior, ou seja, os coeficientes de flicker são directamente proporcionais à velocidade de vento média anual mas variam na razão inversa com o ângulo de impedância da rede, exceptuando também o caso em que  $\psi_k = 85^{\circ}$ . Em relação aos factores de flicker

e variação de tensão as conclusões são as mesmas. No entanto, é de referir que os valores de  $c(\psi_k, v_a)$ ,  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  se mantiveram praticamente inalteráveis.

**Tabela 8.9 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para  $R_{sc} = 12$**

<b>Operação Contínua</b>				
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Velocidade média anual de vento, $v_a$ (m/s)	Coeficiente de flicker, $c(\psi_k, v_a)$			
6	11,8	9,4	6,7	7,2
7,5	12,4	9,9	7,0	7,3
8,5	12,5	10,1	7,0	7,4
10	12,7	10,1	7,0	7,4

(Tabela 8.9 – Continuação)

<b>Operação de Comutação</b>				
Tipo de operação comutada	Arranque à velocidade inicial			
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	10			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	120			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de flicker, $k_f(\psi_k)$	0,470	0,424	0,329	0,353
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	0,503	0,452	0,427	0,440
Tipo de operação comutada	Arranque à velocidade nominal			
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	1			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	12			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de flicker, $k_f(\psi_k)$	0,768	0,456	0,615	0,652
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	1,036	0,933	0,881	0,907

Quanto aos valores de factor de emissão de flicker e, a partir das Tabelas 8.10 e 8.11 verifica-se que:

- Analogamente ao cenário anterior,  $P_{st}$  continua a ser (tal como o coeficiente de flicker) directamente proporcional ao valor de velocidade média anual de vento.
- A redução da razão de curto-circuito teve influência directa no cálculo de  $P_{st}$ , sendo ambos inversamente proporcionais. Ou seja, a probabilidade de ocorrência de flicker é tanto maior quando menor for a razão de curto-circuito, uma vez que as flutuações de tensão são sentidas com maior intensidade nesta situação. Tal se sucede tanto para operação contínua como para operação comutada.

**Tabela 8.10 – Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st,\Sigma}$  obtidos, em operação contínua para  $R_{sc} = 12$**

$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st,\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st,\Sigma}$
30	6	0,0816	0,2827	70	6	0,0466	0,1614
	7,5	0,0858	0,2973		7,5	0,0487	0,1687
	8,5	0,0869	0,3011		8,5	0,0487	0,1687
	10	0,0884	0,3063		10	0,0487	0,1687
50	6	0,0662	0,2294	85	6	0,0498	0,1723

	7,5	0,0687	0,2379		7,5	0,0513	0,1777
	8,5	0,0703	0,2437		8,5	0,0514	0,178
	10	0,0703	0,2437		10	0,0517	0,179

Tabela 8.11 - Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st\Sigma}$  obtidos, em operação de comutação para  $R_{sc} = 12$ 

Arranque à velocidade inicial					Arranque à velocidade nominal				
$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$
30°	0,1200	0,1152	0,2321	0,2228	30°	0,1921	0,1844	0,3679	0,7948
50°	0,1082	0,1038	0,2093	0,2010	50°	0,0675	0,0648	0,1304	0,2817
70°	0,0840	0,0807	0,1630	0,1565	70°	0,1535	0,1474	0,2946	0,6365
85°	0,0901	0,0865	0,1745	0,1676	85°	0,1632	0,1567	0,3130	0,6762

### 8.3.3 Cenário 3 - Razão de curto-circuito $R_{sc} = 8$

Nesta secção procurou-se “enfraquecer” ainda mais a rede eléctrica, reduzindo ainda mais o valor da potência de curto-circuito da rede à qual o parque eólico está ligado. Redes com  $R_{sc} < 10$  são vulgarmente apelidadas de muito fracas. Os resultados obtidos, da mesma forma que nos cenários anteriores estão apresentados na Tabela 8.12.

Tabela 8.12 – Resultados da Análise da Qualidade de Energia Eléctrica para  $R_{sc} = 8$ 

Operação Contínua				
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Velocidade média anual de vento, $v_a$ (m/s)	Coeficiente de flicker, $c(\psi_k, v_a)$			
6	11,7	9,5	6,8	7,2
7,5	12,3	9,9	6,9	7,4
8,5	12,4	10,1	6,9	7,4
10	12,5	10,1	7,0	7,5

Operação de Comutação				
Tipo de operação comutada	Arranque à velocidade inicial			
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	10			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	120			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de flicker, $k_f(\psi_k)$	0,470	0,423	0,329	0,352
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	0,510	0,469	0,439	0,452
Arranque à velocidade nominal				
Número máximo de operações de comutação, $N_{10m}$	1			
Número máximo de operações de comutação, $N_{120m}$	12			
Ângulo de impedância de curto-circuito, $\psi_k(^{\circ})$	30	50	70	85
Factor de flicker, $k_f(\psi_k)$	0,767	0,454	0,613	0,653
Factor de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$	1,052	0,968	0,905	0,932

Sendo já espectável, a variação dos parâmetros em causa é idêntica aos dos outros 2 cenários apresentados anteriormente, sendo praticamente nula no cálculo dos coeficientes de flicker e restantes



factores característicos da operação de comutação. A variação de  $c(\psi_k, v_a)$ ,  $k_f(\psi_k)$  e  $k_u(\psi_k)$  em função do ângulo de impedância da rede e da velocidade média anual, em nada é diferente à dos cenários anteriores. É legítimo afirmar que o valor da razão de curto-circuito não exerce nenhuma influência no cálculo dos referidos parâmetros.

Quanto aos valores de emissão de *flicker*, na tabelas abaixo apresentadas, constata-se que:

- Para operação contínua os valores de  $P_{st}$  contínuam são tanto maiores quanto maior for a velocidade de vento média anual.
- Os valores de  $P_{st}$  e  $P_{lt}$  diminuem com a aumento do ângulo de impedância da rede para os 3 primeiros ângulos analisados (30°, 50° e 70°), continuando o caso em que  $\psi_k = 85^\circ$  a ser excepção, uma vez que o valor do mesmo volta subir para este ângulo.
- A diminuição da razão de curto-circuito para um valor ainda mais baixo levou a que, como era expectável, os valores obtidos fossem ainda mais reduzidos.

**Tabela 8.13 – Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st\Sigma}$  obtidos, em operação contínua para  $R_{sc} = 8$**

$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$v_a$	$P_{st}$	$P_{st\Sigma}$
<b>30</b>	6	0,1217	0,4215	<b>70</b>	6	0,0704	0,2438
	7,5	0,1283	0,4445		7,5	0,0716	0,2480
	8,5	0,1291	0,4471		8,5	0,0716	0,2480
	10	0,1304	0,4518		10	0,0732	0,2534
<b>50</b>	6	0,0988	0,3422	<b>85</b>	6	0,0753	0,2608
	7,5	0,1031	0,3570		7,5	0,0772	0,2673
	8,5	0,1053	0,3649		8,5	0,0773	0,2678
	10	0,1053	0,3649		10	0,078	0,2701

**Tabela 8.14 - Valores de  $P_{st}$  e  $P_{st\Sigma}$  obtidos, em operação de comutação para  $R_{sc} = 8$**

Arranque à velocidade inicial					Arranque à velocidade nominal				
$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$	$\psi_k(^{\circ})$	$P_{st}$	$P_{lt}$	$P_{st\Sigma}$	$P_{lt\Sigma}$
<b>30°</b>	0,1798	0,1727	0,3477	0,3339	<b>30°</b>	0,2881	0,2766	0,5519	0,5299
<b>50°</b>	0,1620	0,1555	0,3135	0,3010	<b>50°</b>	0,1012	0,0971	0,1954	0,1876
<b>70°</b>	0,1259	0,1209	0,2442	0,2345	<b>70°</b>	0,2303	0,2211	0,4419	0,4243
<b>85°</b>	0,1349	0,1295	0,2614	0,2510	<b>85°</b>	0,2446	0,2349	0,4692	0,4505

## 8.4 Análise e discussão dos resultados

Seguindo as especificações da norma IEC 61400-21, foram calculados os factores de emissão de flicker  $P_{st}$  e  $P_{lt}$  de uma turbina e de um parque eólico fazendo variar os seguintes parâmetros:

- Ângulo de impedância da rede,  $\psi_k$ ;

- Razão de curto-circuito,  $R_{sc}$ ;
- Velocidade média anual.

Dos resultados obtidos e apresentados ao longo do capítulo é possível obter as conclusões abaixo descritas.

O valor da razão de curto-circuito não tem qualquer influência no cálculo dos coeficientes e factores de *flicker* e de tensão (respectivamente,  $(c(\psi_k, v_a), k_f(\psi_k) \text{ e } k_u(\psi_k))$  ) sendo estes inversamente proporcionais à razão de curto-circuito. Os únicos parâmetros que realmente têm influência directa nestes valores são o ângulo de impedância da rede eléctrica e o valor de velocidade de vento. Pode-se assim afirmar que são parâmetros característicos da própria, nos quais a rede eléctrica não tem efeito.

No entanto, o valor da razão de curto-circuito influencia no cálculo dos factores de emissão de *flicker*, sendo estes inversamente proporcionais à razão de curto-circuito. Quanto menor a razão de curto-circuito, isto é, quanto mais fraca é a rede eléctrica a que a turbina/parque eólico estiverem ligados, maior é a probabilidade de ocorrência do fenómeno de *flicker*, pois as flutuações de tensão são sentidas com maior intensidade.

O quociente entre os valores de  $P_{st}$  dos vários cenários varia, em regra geral, aproximadamente na mesma proporção entre as razões de curto-circuito dos respectivos cenários. Isto é, os valores de  $P_{st}$  para  $R_{sc} = 24$  são, aproximadamente, o dobro e o triplo dos valores de  $P_{st}$  para os cenários em que o valor de  $R_{sc}$  é igual a 12 e a 8, respectivamente.

Foi verificado que os coeficientes e factores de *flicker* são inversamente proporcionais ao ângulo de impedância da rede, pois diminuem com o aumento do valor deste mesmo ângulo. Foi, no entanto, verificada uma irregularidade, para o ângulo de  $\psi_k = 85^\circ$ . Uma explicação para tal eventualidade necessita que seja lembrada a equação (3.3):

$$U_2 \approx \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{U_1^2}$$

Esta expressão é normalmente usada para estimar as variações de tensão produzidas por uma instalação que fornece potência activa ( $P$ ) e reactiva ( $Q$ ) numa rede cuja impedância é dada por  $Z = R + jX$ . A composição da rede tem assim influência directa na origem de variações de tensão. Com base nesta mesma equação é possível verificar que as variações de tensão da potência activa ocorrem na componente resistiva da rede eléctrica e as variações da potência reactiva na componente reactiva da mesma. Assim, em redes predominantemente resistivas, com um ângulo de impedância baixo, é a componente activa da potência que “comanda” as variações de tensão que possam eventualmente surgir. Contudo, em redes, com um ângulo de impedância muito alto, (como o presente caso de  $\psi_k = 85^\circ$ ) as variações da potência reactiva são mais importante que a da potência activa, as quais, se entende que tiveram uma maior influência na origem de tais resultados.



## 9. Conclusões e Trabalho Futuro

A avaliação da qualidade de energia de um parque eólico com ligação à rede Eléctrica foi o principal objectivo desta dissertação. De entre os diversos parâmetros para avaliação da qualidade de energia deste tipo de central produtora de electricidade, a atenção recaiu sobre a avaliação do fenómeno de emissão de *flicker*, muito característico deste tipo de tecnologia pelas demais razões apresentadas ao longo do documento.

O desenvolvimento de um modelo de simulação de um parque eólico com ligação à rede eléctrica foi também um dos objectivos deste trabalho em ambiente Matlab/*Simulink*. Os resultados obtidos a partir deste último modelo foram os utilizados para o cálculo dos parâmetros de *flicker* em operação contínua e de comutação da turbina e de um parque eólico.

Os valores obtidos para os indicadores tanto da operação contínua como da operação comutada encontram-se de acordo com o esperado. Os valores de coeficiente de *flicker* aumentam com o aumento da velocidade de vento de um eventual local onde a turbina possa estar situada e, em geral, diminuem com o aumento do valor do ângulo de impedância de curto-circuito. Tanto o factor de *flicker* como o factor de variação de tensão aumentam também com a diminuição do ângulo de impedância de curto-circuito e acompanham o mesmo tipo de evolução em relação ao ângulo de impedância de curto-circuito que o anterior parâmetro em operação contínua.

No que diz respeito aos valores de emissão de *flicker* a curto e longo prazo, verificou-se que o parâmetro a que tem maior influência nos mesmos é a razão de curto-circuito da rede eléctrica a que uma turbina (ou um parque eólico) está conectado. Para valores de  $R_{sc}$  maiores, ou seja, para situações em que a potência de curto-circuito da rede eléctrica é superior, a probabilidade de ocorrência de *flicker* é diminuta e, quanto mais fraca a rede eléctrica for a possibilidade de o *flicker* ocorrer aumenta na mesma razão em que o valor de  $R_{sc}$  diminui.

No que diz respeito à criação de um modelo de simulação da produção de electricidade mostrou-se bastante útil na obtenção dos valores de séries necessárias e merece ser explorado futuramente. Por um lado, rearranjar a estrutura do próprio modelo em si, pode melhorar o tempo de simulação do modelo, que se conclui ser a grande desvantagem da utilização de um modelo deste género no ambiente de simulação utilizado (*Simulink*). Por outro, a visualização gráfica e da solução dinâmica para além de interessante, permite obter rápidas assunções de manifestações relacionadas com o tema desta tese.

A optimização desta solução dinâmica passaria por introduzir dados reais de produção eólica, a verificação do modelo com base em estudos previamente efectuados e certificados. A adição de parâmetros de avaliação de outros fenómenos relacionados com a qualidade de energia () agregaria valor ao modelo desenvolvido.



## 10. Bibliografia

- [1] GWEC - Global Wind Energy Council, “Global Wind Statistics 2014,” pp. 3-4, February 2015.
- [2] T. Ackermann, “Wind Power in Power Systems,” John Wiley & Sons Ltd, 2nd Edition, April 2012, p. 1120.
- [3] T. Sun, Z. Chen e F. Blaabjerg, “Voltage recovery of grid-connected wind turbines with DFIG after a short-circuit fault,” 2004, pp. 1991-97.
- [4] Clean Line Energy Partners, “Wind and Solar - Why Renewable Energy?,” [Online]. Available: <http://www.cleanlineenergy.com/technology/wind-and-solar>. [Acedido em 20 dezembro 2014].
- [5] R. Castro, Energias Renováveis e Produção Descentralizada - Introdução à Energia Eólica, Lisboa: IST Press, 2009.
- [6] IRENA, International Renewable Energy Association, “Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series - Wind Power,” *IRENA Working Paper*, pp. 42-46, June 2012.
- [7] WWEA - World Wind Energy Association, “Special Issue: World Wind Energy Report 2014,” *WWEA Quarterly Bulletin*, pp. 12-14, 2015.
- [8] U.S. Department of Energy, “20% Wind Energy by 2030: increasing wind energy contribution to U.S. electricity supply,” NREL/SR-500-41869. Golden, Co: National Renewable Energy Laboratory, 2008. [Online]. Available: <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/41869.pdf>. [Acedido em 2014 12 21].
- [9] EU - European Commission, “Europe 2020 targets,” [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/europe2020/targets/eu-targets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/targets/eu-targets/index_en.htm).
- [10] T. L. Acker, A. Robitaille, H. Holttinen, M. Piekutowski e J. O. G. Tande, “Integration of Wind and Hydropower Systems: Results of IEA Wind Task 24,” *Wind Engineering*, vol. 36 No. 1, pp. 1-18, 2012.
- [11] Wikipedia, “Fântânele-Cogealac Wind Farm,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fantanele-Cogealac\\_Wind\\_Farm](https://en.wikipedia.org/wiki/Fantanele-Cogealac_Wind_Farm). [Acedido em 3 janeiro 2015].

- [12] GOV.UK, “Dogger Bank, Creyke Beck, offshore wind farm application accepted for examination,” [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/news/dogger-bank-creyke-beck-off-shore-wind-farm-application-accepted-for-examination>. [Acedido em 12 4 2015].
- [13] S. Viana, “Modelação de Micro-Sistemas Híbridos Fotovoltaicos/Eólicos para Produção Descentralizada,” Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências da Engenharia, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Junho 2010.
- [14] IEA - International Energy Agency, “Technology Roadmap - Wind Energy,” 2013.
- [15] P. Torres e P. Carneiro, “Modelos Dinâmicos de Parques Eólicos: Análise da Qualidade de Energia Entregue à Rede,” Relatório do Trabalho Final de Curso, IST - Universidade Técnica de Lisboa, 2001.
- [16] I. D. Margaritis, A. D. Hansen, N. A. Cutululis, P. Sørensen e N. D. Hatziaargyriou, “Operation and Control of Wind Farms in Non-Interconnected Power Systems,” em *Wind Farm - Impact in Power System and Alternatives to Improve the Integration*, InTech, 2011, pp. 171-208.
- [17] J. P. Sucena Paiva, *Redes de Energia Eléctrica: uma análise sistémica*, IST Press, 2011.
- [18] Wikipedia, “Electrical grid,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_grid](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid). [Acedido em 04 07 2015].
- [19] EDP, “Rede de Distribuição de Energia Eléctrica,” [Online]. Available: <http://www.edp.pt/pt/fornecedores/seguranca/redededistribuicao/Pages/RededeDistribui%C3%A7%C3%A3o.aspx>. [Acedido em 12 7 2015].
- [20] A. Estanqueiro e P. Rosas, “Guia de Projecto Eléctrico de Centrais Eólicas,” CBEE (Centro Brasileiro de Energia Eólica), 2003.
- [21] M. Bollen e M. Häger, “Power quality: interactions between distributed energy resources, the grid, and other customers,” Lulea University of Technology, Skelleftea (Sweden), 2005.
- [22] R. Neumann e J. W. Hong, “Power Quality Monitoring for Wind Farms,” em *Distributech - Conference and Exhibition*, San Diego, CA - USA, 2009.
- [23] A. Estanqueiro, “Apontamentos Energia Eólica. Integração de parques eólicos na rede eléctrica (III). Qualidade da Energia.,” 2010.
- [24] J. Martins, C. Couto e J. Afonso, “Qualidade de Energia Eléctrica,” em *3º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia – CLME*, Maputo (Moçambique), Agosto, 2003.
- [25] IEEE std 100-2000: The Authoritative Dictionary of IEEE Standard Terms, 7th ed., 2007.

- [26] A. Larsson, “The Power Quality of Wind Turbines,” Department of Electric Power Engineering, Chalmers University of Technology, Gotenburg, Sweden, 2000.
- [27] N. Fernandes, “Impacto da Ligação de Geradores Eólicos na Rede de Distribuição,” Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, IST - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.
- [28] C. López e J. Blames, “Voltage Fluctuations Produced by the Fixed Speed Wind Turbines during Continuous Operation - European Perspective,” *European Perspective, Wind Farm - Impact in Power System and Alternatives to Improve the Integration*, 2011.
- [29] J. Soens, J. Driesen e R. Belmans, “Interaction Between Electrical Grid Phenomena and the Wind Turbine's Behavior,” K.U.Leuven, Department Electrotechnical Engineering, 2003.
- [30] A. Tascikaraoglu, M. Uzunoglu, B. Vural e O. Erdnic, “Power quality assessment of wind turbines and comparison with conventional legal regulations: A case study in Turkey,” em *Applied Energy*, Elsevier, 2011, pp. 1864-1872.
- [31] D. Gallo, C. Landi e N. Pasquino, “An instrument for objective measurement of light flicker,” em *2005 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, Ottawa, Ont. (Canada), 2005.
- [32] S. Caldara, S. Nuccio e C. Spataro, “Digital techniques for flicker measurement: algorithms and implementations analysis,” em *16th IEEE instrumentation and measurement technology conference*, Venice, Italy, 1999.
- [33] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flickermeter – Functional and design specifications, Edition 2.0, 2010.
- [34] Outram Research, “Flicker in ther power master series,” [Online]. Available: [http://www.outramresearch.co.uk/pages/product\\_flicker.shtml](http://www.outramresearch.co.uk/pages/product_flicker.shtml). [Acedido em 21 04 2014].
- [35] W. Mombauer, Additional requirements to the IEC flickermeter, Version 10, July 2008.
- [36] J. Lopes, “Energia Eólica - Impacto da integração da geração eólicas nas redes eléctricas (Redes de Distribuição e de Transporte),” 2006. [Online]. Available: [https://paginas.fe.up.pt/~jpl/textos/EE\\_Impacto\\_Redes.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~jpl/textos/EE_Impacto_Redes.pdf). [Acedido em 5 12 2014].
- [37] IEC 61400-21, Wind turbines - Part 21: Measurement and assessment of power quality of grid connected wind turbines, Edition 2.0, 2008.



- [38] K. Redondo, A. Lazkano, P. Saiz, J. Gutierrez, I. Azcarate e L. Leturiondo, “Influence of the Fictitious Grid on Flicker Assessment of Grid Connected Wind Turbine,” em *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13)*, Bilbao (Spain), 2013.
- [39] IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC)-Limits-Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems., 2008.
- [40] MathWorks, “Wind Farm - DFIG Detailed Model,” [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/wind-farm-dfig-detailed-model.html>. [Acedido em 28 Setembro 2015].
- [41] A. Estanqueiro, “INPark Model Development: Theoretical Approach and Numerical Implementation.,” Mistral SfS Final Report. Lisbon, Portugal: NATO PO, INETI, 2001.
- [42] R. Neumann e J. W. Hong, “Power Quality Monitoring for Wind Farms,” 2009.
- [43] IMF, “International Monetary Fund,” 2015. [Online]. Available: [https://www.imf.org/external/np/fin/data/rms\\_mth.aspx?SelectDate=2015-01-31&reportType=REP](https://www.imf.org/external/np/fin/data/rms_mth.aspx?SelectDate=2015-01-31&reportType=REP). [Acedido em 4 Janeiro 2015].
- [44] IEC 61000-3-3, “Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current  $\leq 16$  A per phase and not subject to conditional connection,” Edition 2.0, 2008.
- [45] MathWorks, “Wind Turbine Doubly-Fed Induction Generator (Phasor Type),” [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/windturbinedoublyfedinductiongeneratorphasortype.html>. [Acedido em 20 10 2014].



## Anexo I. Conceitos básicos de transmissão de energia eléctrica

Num SEE existem tensões e correntes e, uma vez que se tratam de sistemas em corrente alternada (CA), elas podem ser representadas através das expressões:

$$u(t) = U_M \cos(\omega t) \quad (I.I.1)$$

$$i(t) = I_M \cos(\omega t - \psi)$$

Em que  $u(t)$  e  $i(t)$  representam, respectivamente, a tensão e a corrente instantâneas em função do tempo;  $U_M$  e  $I_M$  são, respectivamente, a amplitude máxima da tensão e da corrente;  $\omega = 2\pi f$  em que  $f$  é a frequência, normalmente 50 ou 60 Hz; e  $\psi$  representa o desfasamento entre a tensão e a corrente [2]. Sendo a potência o resultado do produto entre tensão e corrente, esta pode ser calculada a partir de:

$$p(t) = u(t) \times i(t)$$

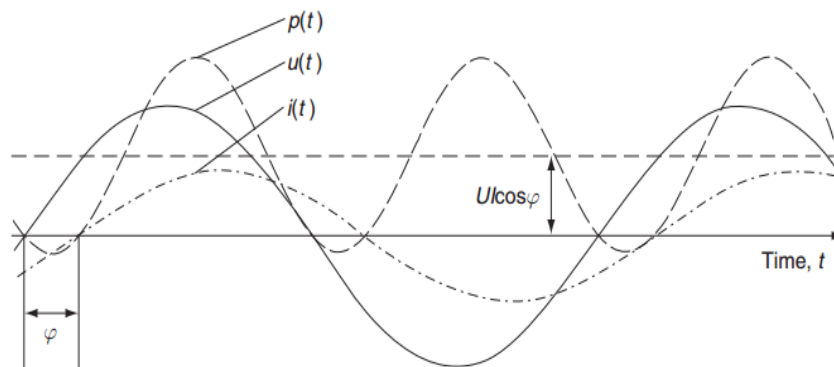
$$p(t) = U_M \cos(\omega t) \times I_M \cos(\omega t - \psi) \quad (I.I.2)$$

$$p(t) = P[1 + \cos(2\omega t)] + Q[\cos(2\omega t)]$$

Onde, as variáveis  $P$  e  $Q$  representam as potências activa e reactiva, respectivamente, e são dadas pelas expressões abaixo:

$$P = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \frac{I_M}{\sqrt{2}} \cos(\psi) \quad Q = \frac{U_M}{\sqrt{2}} \frac{I_M}{\sqrt{2}} \sin(\psi) \quad (I.I.3)$$

onde  $\cos(\psi)$  é o factor de potência. A evolução temporal destas três grandezas,  $u(t)$ ,  $i(t)$  e  $p(t)$ , é ilustrada na Figura I.1.



**Figura I.1 – Evolução da potência, tensão e corrente em função do tempo**

No estudo do SEE é comum recorrer à utilização da notação complexa. Este método permite facilitar os cálculos, pois de outra forma ter-se-ia de usar o método em que as variáveis são expressas em função do tempo. Assim, a tensão ( $U$ ), a corrente ( $I$ ) e a potência ( $S$ ) em notação complexa expressam-se do seguinte modo:

$$= |U|e^{j\arg(U)}$$

$$I = |U|e^{j\arg(I)} \quad (\text{I.I.4})$$

$$S = UI = |U||I|e^{j[\arg(U)-\arg(I)]} = |U||I|e^{j\psi} = |S|e^{j\arg(S)} = P + jQ$$

A energia eléctrica é transmitida em 3 fases num SEE. O objectivo é conseguir-se um sistema trifásico o mais simétrico possível. Num sistema trifásico equilibrado as três tensões e correntes têm exactamente a mesma amplitude e estão desfasadas  $120^\circ$  entre elas como ilustrado na Figura I.2 a) e b) [27].

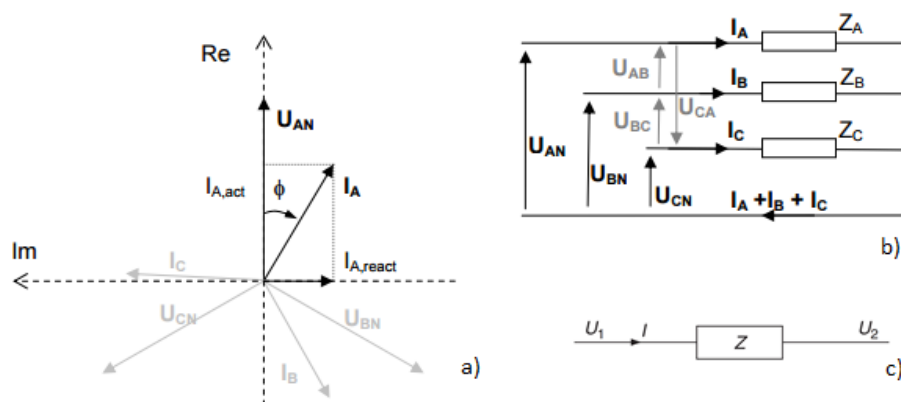
$$U_{AN} = |U|e^{j0^\circ} \quad U_{BN} = |U|e^{-j120^\circ} \quad U_{CN} = |U|e^{j120^\circ} \quad (\text{I.I.5})$$

$$I_{AN} = |U|e^{-j\psi^\circ} \quad I_{BN} = |U|e^{-j(120+\psi)^\circ} \quad I_{CN} = |U|e^{j(120-\psi)^\circ} \quad (\text{I.I.6})$$

A tensão entre as linhas pode então ser determinada recorrendo à expressão:

$$U_{AB} = U_{AN} - U_{BN} = |U_{AN}|(1 - e^{-j120^\circ}) = \sqrt{3}|U_{AN}|e^{j30^\circ} \quad (\text{I.I.7})$$

É possível retirar a conclusão que o valor da tensão entre 2 linhas é  $\sqrt{3}$  vezes superior ao valor da tensão numa fase. O facto de o somatório das potências das três fases ser constante, não variando assim com o tempo, é um dos benefícios de se ter um sistema simétrico. O outro benefício remete para a soma das correntes nas três fases ser igual a zero.

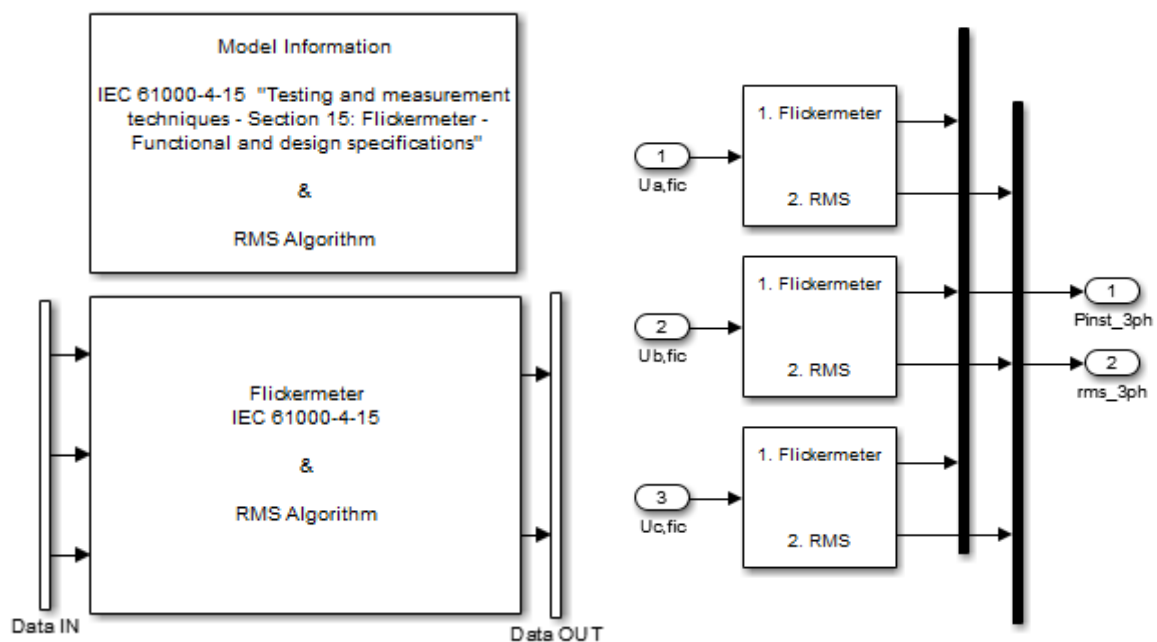


**Figura I.2 - a) Sistema trifásico. b) Diagrama vectorial. c) Tensões  $U_1$  e  $U_2$  em ambos os lados de uma impedância  $Z$  com corrente  $I$**

Na análise de um SEE, cargas, linhas de transmissão ou distribuição e transformadores podem ser ilustrados por impedâncias, tal como na Figura I.2 c). Com as tensões dos dois lados da impedância (valores RMS da tensão linha-a-linha) e a corrente (valor RMS da corrente numa fase), a queda de tensão na impedância pode ser calculada por:

$$U_1 - U_2 = \sqrt{3}IZ = IZ^* \quad (\text{I.I.8})$$

## Anexo II. Modelo Flickermeter e Cálculo de RMS





## Anexo III. Testes de validação do Flickermeter IEC 61000-4-15

### a) Modulação Sinusoidal – Indicador $P_{inst}$

**Tabela III.1 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/50Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	2,4530	1,0141	10,5	0,3550	1,0047
1,0	1,4650	1,0082	11,0	0,3730	1,0049
1,5	1,1260	1,0070	11,5	0,3940	1,0065
2,0	0,9420	1,0071	12,0	0,4170	1,0061
2,5	0,8150	1,0063	13,0	0,4690	1,0059
3,0	0,7170	1,0061	14,0	0,5280	1,0075
3,5	0,6370	1,0058	15,0	0,5920	1,0073
4,0	0,5700	1,0051	16,0	0,6600	1,0048
4,5	0,5140	1,0068	17,0	0,7340	1,0073
5,0	0,4660	1,0056	18,0	0,8110	1,0062
5,5	0,4260	1,0058	19,0	0,8920	1,0051
6,0	0,3930	1,0063	20,0	0,9780	1,0059
6,5	0,3660	1,0041	21,0	1,0680	1,0064
7,0	0,3460	1,0061	22,0	1,1620	1,0060
7,5	0,3320	1,0081	23,0	1,2610	1,0060
8,0	0,3230	1,0051	24,0	1,3650	1,0056
8,8	0,3210	1,0065	25,0	1,4760	1,0061
9,5	0,3290	1,0041	33,3	3,1110	1,0049
10,0	0,3410	1,0093	40,0	NaN	NaN

**Tabela III.2 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/60Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	2,4530	1,0139	10,5	0,3550	1,0046
1,0	1,4650	1,0081	11,0	0,3730	1,0049
1,5	1,1260	1,0068	11,5	0,3940	1,0064
2,0	0,9420	1,0070	12,0	0,4170	1,0061
2,5	0,8150	1,0062	13,0	0,4690	1,0058
3,0	0,7170	1,0059	14,0	0,5280	1,0074
3,5	0,6370	1,0057	15,0	0,5920	1,0072
4,0	0,5700	1,0051	16,0	0,6600	1,0048
4,5	0,5140	1,0067	17,0	0,7340	1,0073
5,0	0,4660	1,0055	18,0	0,8110	1,0064
5,5	0,4260	1,0057	19,0	0,8920	1,0056
6,0	0,3930	1,0062	20,0	0,9770	1,0049
6,5	0,3660	1,0040	21,0	1,0670	1,0063
7,0	0,3460	1,0060	22,0	1,1600	1,0058
7,5	0,3320	1,0079	23,0	1,2570	1,0053
8,0	0,3230	1,0049	24,0	1,3590	1,0061
8,8	0,3210	1,0064	25,0	1,4640	1,0052
9,5	0,3290	1,0040	33,3	2,5700	1,0050
10,0	0,3410	1,0092	40,0	4,3930	1,0038

**Tabela III.3 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/50Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	2,3250	1,0087	10,5	0,2710	1,0026
1,0	1,3970	1,0017	11,0	0,2830	0,9991
1,5	1,0670	1,0004	11,5	0,2980	1,0019
2,0	0,8790	1,0006	12,0	0,3140	0,9994
2,5	0,7470	1,0013	13,0	0,3510	0,9992
3,0	0,6450	1,0004	14,0	0,3930	1,0016
3,5	0,5640	1,0019	15,0	0,4380	1,0010
4,0	0,4970	1,0005	16,0	0,4860	1,0006
4,5	0,4420	1,0022	17,0	0,5370	1,0015
5,0	0,3960	1,0027	18,0	0,5900	1,0004
5,5	0,3570	0,9997	19,0	0,6460	1,0012
6,0	0,3250	0,9976	20,0	0,7040	1,0003
6,5	0,3000	1,0013	21,0	0,7640	0,9987
7,0	0,2800	1,0012	22,0	0,8280	1,0002
7,5	0,2650	0,9986	23,0	0,8940	0,9995
8,0	0,2560	1,0033	24,0	0,9640	1,0002
8,8	0,2500	1,0004	25,0	1,0370	0,9987
9,5	0,2540	1,0019	33,3	2,1280	0,9988
10,0	0,2610	1,0021	40,0	NaN	NaN

**Tabela III.4 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/60Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	2,3250	1,0086	10,5	0,2710	1,0024
1,0	1,3970	1,0017	11,0	0,2830	0,9990
1,5	1,0670	1,0001	11,5	0,2980	1,0018
2,0	0,8790	1,0005	12,0	0,3140	0,9992
2,5	0,7470	1,0012	13,0	0,3510	0,9991
3,0	0,6450	1,0002	14,0	0,3930	1,0015
3,5	0,5640	1,0017	15,0	0,4380	1,0008
4,0	0,4970	1,0005	16,0	0,4860	1,0005
4,5	0,4420	1,0020	17,0	0,5370	1,0014
5,0	0,3960	1,0025	18,0	0,5900	1,0005
5,5	0,3570	0,9995	19,0	0,6450	0,9985
6,0	0,3250	0,9974	20,0	0,7030	0,9986
6,5	0,3000	1,0011	21,0	0,7640	1,0004
7,0	0,2800	1,0010	22,0	0,8260	0,9986
7,5	0,2650	0,9984	23,0	0,8920	1,0005
8,0	0,2560	1,0030	24,0	0,9590	0,9991
8,8	0,2500	1,0002	25,0	1,0290	0,9987
9,5	0,2540	1,0018	33,3	1,7580	0,9989
10,0	0,2610	1,0020	40,0	2,9630	0,9981



**b) Modulação Rectangular – Indicador  $P_{inst}$**

**Tabela III.5 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/50Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	0,5970	1,0065	12,0	0,3250	1,0096
1,0	0,5470	1,0059	13,0	0,3630	1,0080
1,5	0,5030	1,0084	14,0	0,4130	1,0063
2,0	0,4680	1,0058	15,0	0,4600	1,0079
2,5	0,4380	1,0042	16,0	0,5110	1,0052
3,0	0,4200	1,0081	17,0	0,5620	1,0054
3,5	0,4080	1,0064	18,0	0,6110	1,0130
4,0	0,3940	1,0048	19,0	0,6830	1,0058
4,5	0,3720	1,0086	20,0	0,7680	1,0144
5,0	0,3480	1,0074	21,0	0,8110	1,0106
5,5	0,3230	1,0075	21,5	0,8200	1,0107
6,0	0,3020	1,0100	22,0	0,8520	1,0095
6,5	0,2830	1,0036	23,0	0,9570	1,0063
7,0	0,2690	1,0103	24,0	1,0520	1,0148
7,5	0,2590	1,0057	25,0	1,0870	1,0065
8,0	0,2530	1,0086	25,5	1,1480	1,0070
8,8	0,2520	1,0086	28,0	1,3030	1,0190
9,5	0,2580	1,0050	30,5	1,1440	1,0348
10,0	0,2650	1,0082	33,3	2,4430	1,0695
10,5	0,2780	1,0085	37,0	NaN	NaN
11,0	0,2930	1,0093	40,0	NaN	NaN
11,5	0,3080	1,0043			

**Tabela III.6 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V/60Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	0,5980	1,0069	12,0	0,3240	1,0066
1,0	0,5480	1,0067	13,0	0,3670	1,0062
1,5	0,5030	1,0074	14,0	0,4110	1,0054
2,0	0,4690	1,0073	15,0	0,4570	1,0054
2,5	0,4390	1,0059	16,0	0,5090	1,0015
3,0	0,4190	1,0052	17,0	0,5750	1,0096
3,5	0,4080	1,0056	18,0	0,6260	1,0021
4,0	0,3940	1,0086	19,0	0,6880	1,0069
4,5	0,3730	1,0079	20,0	0,7460	1,0049
5,0	0,3480	1,0051	21,0	0,8150	1,0035
5,5	0,3240	1,0061	21,5	0,8370	1,0127
6,0	0,3020	1,0058	22,0	0,8510	1,0052
6,5	0,2830	1,0044	23,0	0,9460	1,0149
7,0	0,2690	1,0032	24,0	1,0670	1,0060
7,5	0,2580	1,0027	25,0	1,0880	1,0306
8,0	0,2530	1,0035	25,5	1,0720	1,0186
8,8	0,2520	1,0097	28,0	1,3830	1,0045
9,5	0,2580	1,0037	30,5	1,6020	1,0092
10,0	0,2660	1,0099	33,3	1,8230	1,0435
10,5	0,2780	1,0047	37,0	1,3040	0,9832
11,0	0,2920	1,0032	40,0	3,4510	1,0047
11,5	0,3080	1,0090			

**Tabela III.7 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/50Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	0,5090	1,0011	12,0	0,2450	1,0030
1,0	0,4670	1,0005	13,0	0,2720	1,0024
1,5	0,4290	1,0020	14,0	0,3080	1,0025
2,0	0,3980	1,0005	15,0	0,3410	1,0025
2,5	0,3700	0,9987	16,0	0,3760	0,9986
3,0	0,3520	1,0009	17,0	0,4110	0,9978
3,5	0,3420	0,9984	18,0	0,4460	1,0073
4,0	0,3320	1,0010	19,0	0,4970	1,0001
4,5	0,3120	0,9981	20,0	0,5530	1,0085
5,0	0,2910	1,0005	21,0	0,5850	1,0010
5,5	0,2680	1,0003	21,5	0,5920	1,0023
6,0	0,2480	1,0008	22,0	0,6120	1,0030
6,5	0,2310	1,0025	23,0	0,6800	0,9993
7,0	0,2160	0,9978	24,0	0,7430	1,0071
7,5	0,2070	1,0050	25,0	0,7640	0,9999
8,0	0,1990	0,9962	25,5	0,8060	1,0004
8,8	0,1960	1,0009	28,0	0,9150	1,0099
9,5	0,1990	1,0009	30,5	0,8470	1,0262
10,0	0,2030	1,0028	33,3	1,6710	1,0514
10,5	0,2120	1,0034	37,0	NaN	NaN
11,0	0,2220	1,0006	40,0	NaN	NaN
11,5	0,2330	0,9992			

**Tabela III.8 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V/60Hz**

$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo	$f_m$ (Hz)	$a_m$ (%)	$P_{inst}$ Máximo
0,5	0,5100	1,0022	12,0	0,2440	0,9998
1,0	0,4680	1,0018	13,0	0,2750	1,0013
1,5	0,4290	1,0014	14,0	0,3060	0,9981
2,0	0,3990	1,0024	15,0	0,3380	0,9981
2,5	0,3710	1,0010	16,0	0,3760	0,9986
3,0	0,3510	0,9978	17,0	0,4200	0,9998
3,5	0,3420	0,9977	18,0	0,4570	0,9990
4,0	0,3310	1,0000	19,0	0,4980	0,9995
4,5	0,3130	0,9979	20,0	0,5370	0,9994
5,0	0,2910	0,9979	21,0	0,5840	0,9963
5,5	0,2690	0,9996	21,5	0,6000	1,0065
6,0	0,2490	1,0035	22,0	0,6110	0,9992
6,5	0,2310	1,0032	23,0	0,6780	1,0055
7,0	0,2170	0,9992	24,0	0,7530	0,9990
7,5	0,2060	0,9989	25,0	0,7780	1,0187
8,0	0,2000	1,0002	25,5	0,7680	1,0101
8,8	0,1960	1,0014	28,0	0,9620	0,9968
9,5	0,1990	0,9996	30,5	1,1050	1,0025
10,0	0,2030	0,9967	33,3	1,2580	1,0338
10,5	0,2120	0,9992	37,0	0,9750	0,9774
11,0	0,2220	1,0008	40,0	2,3270	0,9985
11,5	0,2330	1,0036			

**c) Modulação Rectangular – Indicador  $P_{st}$**

**Tabela III.9 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 120V a 50 e 60 Hz**

Variações rectangulares por minuto ( $f_m$ )	120V/50Hz		120V/60Hz	
	am (%)	Pst	am (%)	Pst
1	3,178	0,9745	3,181	0,9744
2	2,561	0,9879	2,564	0,988
7	1,694	0,9986	1,694	0,9981
39	1,045	1,0032	1,04	0,998
110	0,844	1,0032	0,844	1,0028
1620	0,545	1,0025	0,548	1,0036
4000	3,426	1,0199	-----	-----
4800	-----	-----	4,837	1,0019

**Tabela III.10 - Resultados dos testes de validação para uma lâmpada de 230V a 50 e 60 Hz**

Variações rectangulares por minuto ( $f_m$ )	230V/50Hz		230V/60Hz	
	am (%)	Pst	am (%)	Pst
1	2,715	0,971	2,719	0,9712
2	2,191	0,9846	2,194	0,9847
7	1,45	0,9956	1,45	0,9952
39	0,894	0,9994	0,895	1,0002
110	0,722	0,9994	0,723	1,0004
1620	0,407	0,9989	0,409	1,0003
4000	2,343	1,0128	-----	-----
4800	-----	-----	3,263	0,9994



## Anexo IV. Elementos do Modelo do Parque Eólico ligado à Rede Eléctrica

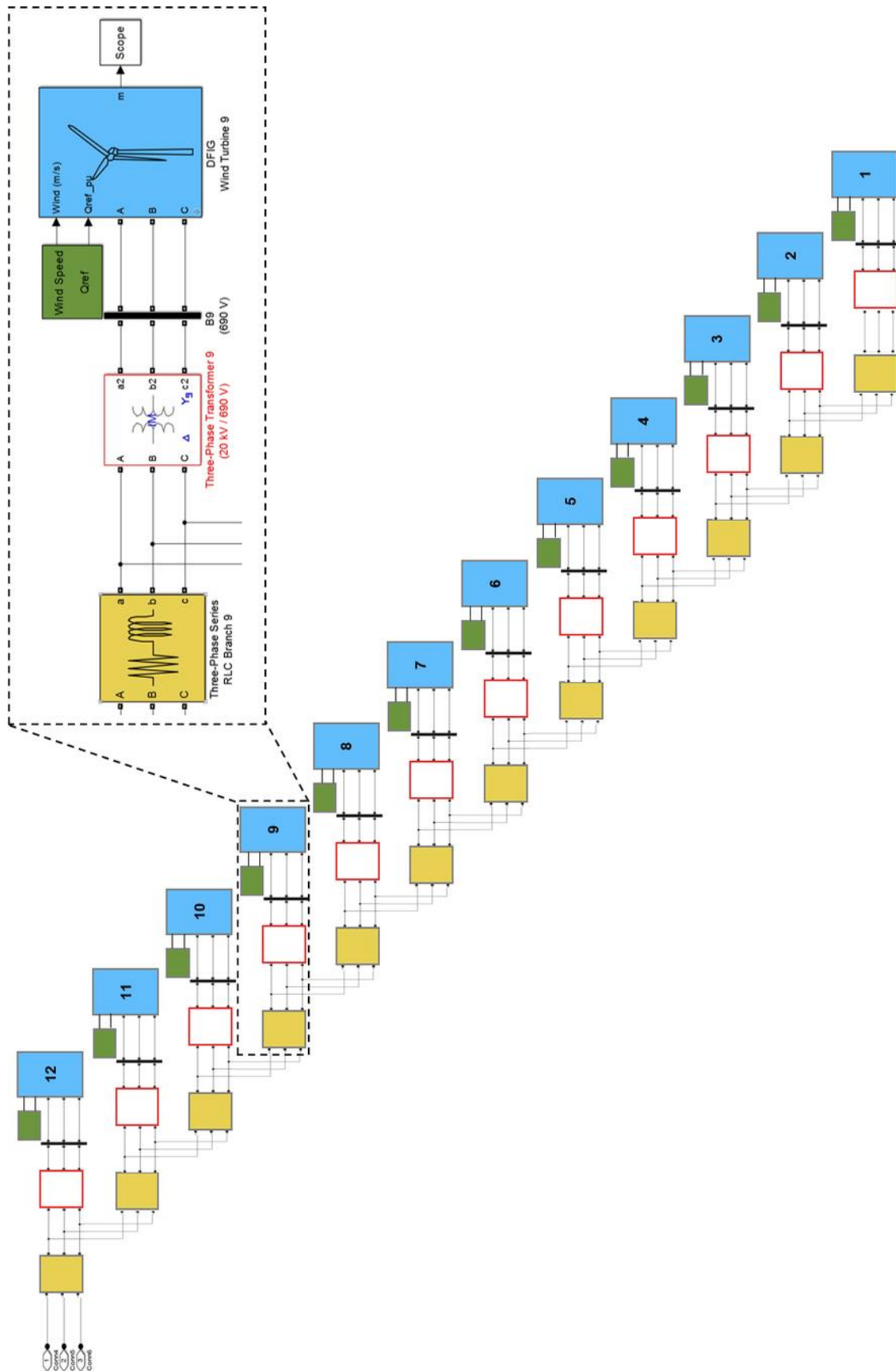


Figura IV.1 – Representação da ligação e disposição das turbinas eólicas do bloco “Wind Farm (12 x 2MW)” do modelo apresentado na Figura 8.2.

## Anexo V. Operação Contínua: Análise Estatística

**Tabela V.1 - Número de medidas realizadas, frequência relativa e frequências de ocorrência**

Intervalo velocidade vento (m/s)	Número de medições $N_{m,i}$	Frequência relativa $f_{m,i}$ %	Frequência de Ocorrência $f_{y,i}$ %			
			$v_a = 6\text{ m/s}$	$v_a = 7,5\text{ m/s}$	$v_a = 8,5\text{ m/s}$	$v_a = 10\text{ m/s}$
5 - 6	15	9,43	12,37	10,04	8,59	6,8
6 - 7	21	13,21	11,26	10,04	8,91	7,32
7 - 8	12	7,55	9,58	9,53	8,83	7,56
8 - 9	12	7,55	7,67	8,65	8,41	7,56
9 - 10	15	9,43	5,8	7,52	7,74	7,34
10 - 11	18	11,32	4,15	6,29	6,88	6,93
11 - 12	15	9,43	2,82	5,07	5,94	6,39
12 - 13	12	7,55	1,82	3,95	4,97	5,75
13 - 14	21	13,21	1,11	2,97	4,05	5,07
14 - 15	18	11,32	0,65	2,16	3,21	4,37
Total $N_m$	159					

**Tabela V.2 – Factores de ponderação em função da velocidade de vento anual**

Intervalo velocidade vento (m/s)	Factor de Ponderação $W_i$			
	$v_a = 6\text{ m/s}$	$v_a = 7,5\text{ m/s}$	$v_a = 8,5\text{ m/s}$	$v_a = 10\text{ m/s}$
5 - 6	1,3108	1,0645	0,9104	0,7209
6 - 7	0,8525	0,7603	0,6747	0,5539
7 - 8	1,2697	1,2632	1,1703	1,0021
8 - 9	1,0163	1,1456	1,1150	1,0018
9 - 10	0,6144	0,7971	0,8200	0,7778
10 - 11	0,3664	0,5557	0,6079	0,6124
11 - 12	0,2985	0,5375	0,6293	0,6773
12 - 13	0,2407	0,5228	0,6590	0,7623
13 - 14	0,0844	0,2246	0,3067	0,3837
14 - 15	0,0576	0,1905	0,2837	0,3860

**Tabela V.3 - Soma dos produtos dos factores de ponderação pelo número de medidas efectuadas**

$v_a$ (m/s)	6,0	7,5	8,5	10,0
-------------	-----	-----	-----	------

$\sum_{i=1}^{N_{bin}} (w_i \times N_{m,i})$	90,9828	105,2791	107,3860	103,4939
---	---------	----------	----------	----------

Tabela V.4 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ ,  $\psi_k = 30^\circ$ )

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
12,8137	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12,7687	14,6972	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>12,5093</b>	<b>14,8827</b>	0,9987	0,9964	0,9947	<b>0,9925</b>
<b>12,4106</b>	<b>14,9761</b>	0,9981	0,9946	<b>0,9921</b>	0,9888
12,3488	13,5108	0,9972	0,9924	0,9892	0,9851
<b>12,3301</b>	<b>14,6049</b>	0,9965	<b>0,9906</b>	0,9866	0,9814
12,2858	13,5108	0,9956	0,9885	0,9837	0,9777
12,0650	14,8827	0,9950	0,9867	0,9811	0,9739
11,9200	14,2411	0,9943	0,9849	0,9784	0,9702
11,8995	13,5108	0,9934	0,9827	0,9756	0,9665
<b>11,8241</b>	<b>14,2411</b>	<b>0,9928</b>	0,9809	0,9729	0,9628
11,7456	11,9132	0,9895	0,9758	0,9671	0,9562
11,6633	11,9132	0,9862	0,9707	0,9612	0,9497
11,6619	14,9761	0,9856	0,9689	0,9586	0,9460
11,6482	14,2411	0,9850	0,9671	0,9559	0,9422
11,5713	13,2828	0,9840	0,9650	0,9531	0,9385
11,5504	13,3098	0,9831	0,9628	0,9502	0,9348
11,5395	13,3098	0,9822	0,9607	0,9474	0,9311
11,5329	14,6049	0,9815	0,9589	0,9447	0,9274
11,5291	14,9761	0,9809	0,9571	0,9421	0,9236
11,3919	12,6679	0,9783	0,9521	0,9359	0,9163
11,3473	14,6972	0,9776	0,9503	0,9333	0,9126
11,2121	13,4825	0,9767	0,9482	0,9304	0,9088
11,1265	12,6679	0,9741	0,9432	0,9243	0,9015
11,0508	11,0524	0,9708	0,9381	0,9185	0,8949
11,0243	11,9132	0,9675	0,9330	0,9126	0,8884
10,9495	13,2828	0,9666	0,9309	0,9097	0,8847
10,8219	10,6978	0,9625	0,9256	0,9041	0,8788
10,7093	13,4825	0,9616	0,9234	0,9012	0,8751
10,6987	12,115	0,9590	0,9185	0,8951	0,8677
10,5839	10,5713	0,9549	0,9132	0,8894	0,8618
10,5509	12,115	0,9523	0,9082	0,8833	0,8544
10,5099	11,0524	0,9490	0,9031	0,8774	0,8479
10,4587	12,6279	0,9464	0,8982	0,8713	0,8405
10,4017	10,2545	0,9423	0,8929	0,8656	0,8346
10,4003	10,6978	0,9383	0,8876	0,8600	0,8287
10,3969	13,596	0,9374	0,8855	0,8571	0,8250
10,3332	11,5683	0,9341	0,8804	0,8512	0,8184
10,3141	13,5808	0,9332	0,8782	0,8484	0,8147
10,3092	13,2828	0,9323	0,8761	0,8455	0,8110
10,2952	14,6972	0,9316	0,8743	0,8429	0,8073
10,2869	10,2545	0,9276	0,8690	0,8372	0,8014
10,1922	14,6049	0,9270	0,8672	0,8346	0,7976
10,1155	12,0183	0,9243	0,8622	0,8285	0,7903
10,0260	13,3098	0,9234	0,8601	0,8256	0,7866
10,0195	11,5683	0,9201	0,8550	0,8197	0,7800
9,9974	13,4825	0,9192	0,8529	0,8169	0,7763
9,9962	10,5713	0,9152	0,8476	0,8112	0,7704
9,9956	14,8827	0,9145	0,8458	0,8086	0,7667
9,9419	11,8091	0,9112	0,8407	0,8027	0,7601
9,9137	14,4343	0,9106	0,8389	0,8001	0,7564
9,8887	14,4343	0,9100	0,8371	0,7974	0,7527



9,7499	11,0524	0,9067	0,8319	0,7916	0,7461
9,7235	10,6978	0,9027	0,8267	0,7859	0,7402
9,6623	12,115	0,9000	0,8217	0,7798	0,7328
9,6376	11,8091	0,8967	0,8166	0,7739	0,7263
9,5470	12,6279	0,8941	0,8116	0,7678	0,7189
9,5378	13,596	0,8932	0,8095	0,7649	0,7152
9,5250	10,6359	0,8891	0,8042	0,7593	0,7093
9,4717	13,1998	0,8882	0,8021	0,7564	0,7056
9,3477	14,4343	0,8876	0,8003	0,7538	0,7019
9,3016	12,0183	0,8849	0,7953	0,7476	0,6945
9,2736	11,5683	0,8816	0,7902	0,7418	0,6879
9,2385	12,6279	0,8790	0,7852	0,7356	0,6806
9,2356	9,5221	0,8723	0,7777	0,7280	0,6731
9,1985	13,1998	0,8713	0,7755	0,7251	0,6694
9,1018	9,5221	0,8646	0,7680	0,7175	0,6618
9,0924	13,596	0,8636	0,7658	0,7146	0,6581
9,0830	13,5808	0,8627	0,7637	0,7118	0,6544
9,0159	11,0595	0,8594	0,7586	0,7059	0,6479
9,0038	13,1998	0,8585	0,7565	0,7031	0,6442
8,9296	11,0595	0,8552	0,7514	0,6972	0,6376
8,5188	10,5713	0,8512	0,7461	0,6915	0,6317
8,5044	9,5221	0,8444	0,7385	0,6839	0,6242
8,4902	11,0595	0,8412	0,7334	0,6780	0,6177
8,4733	10,2545	0,8371	0,7281	0,6724	0,6117
8,4544	13,5808	0,8362	0,7260	0,6695	0,6080
8,2957	9,1807	0,8295	0,7184	0,6619	0,6005
8,2946	12,0183	0,8268	0,7135	0,6558	0,5932
8,1531	9,3912	0,8201	0,7059	0,6481	0,5856
8,1396	8,9072	0,8089	0,6950	0,6377	0,5760
8,0943	11,8091	0,8056	0,6899	0,6319	0,5694
8,0089	9,1807	0,7989	0,6823	0,6242	0,5619
7,9067	10,6359	0,7948	0,6770	0,6186	0,5560
7,7471	10,6359	0,7908	0,6718	0,6129	0,5501
7,7088	8,3376	0,7796	0,6609	0,6025	0,5404
7,6691	10,5127	0,7756	0,6556	0,5969	0,5345
7,6053	10,3797	0,7716	0,6503	0,5912	0,5285
7,4759	9,3912	0,7648	0,6428	0,5836	0,5210
7,3625	8,6011	0,7536	0,6319	0,5732	0,5114
7,2845	9,0288	0,7469	0,6243	0,5656	0,5038
7,2649	10,5127	0,7429	0,6190	0,5599	0,4979
7,2340	8,3376	0,7317	0,6081	0,5495	0,4882
7,2070	10,3797	0,7277	0,6029	0,5439	0,4823
7,1499	8,9072	0,7165	0,5920	0,5335	0,4726
7,0517	8,3025	0,7053	0,5811	0,5231	0,4630
7,0487	8,6011	0,6942	0,5702	0,5127	0,4533
7,0004	10,3797	0,6901	0,5649	0,5070	0,4474
6,7144	8,6011	0,6790	0,5541	0,4967	0,4377
6,5410	8,3376	0,6678	0,5432	0,4863	0,4280
6,4609	9,1807	0,6610	0,5356	0,4786	0,4205
6,3041	8,9072	0,6499	0,5247	0,4683	0,4108
6,1209	9,0288	0,6431	0,5172	0,4606	0,4033
6,0488	9,3912	0,6364	0,5096	0,4530	0,3958
5,9794	7,6131	0,6224	0,4976	0,4421	0,3861
5,9008	10,5127	0,6184	0,4923	0,4364	0,3802
5,7755	7,6131	0,6044	0,4803	0,4255	0,3705
5,7478	9,0288	0,5977	0,4727	0,4179	0,3630
5,6461	7,7971	0,5837	0,4607	0,4070	0,3533
5,5486	8,3025	0,5725	0,4499	0,3966	0,3436

5,5238	9,5058	0,5658	0,4423	0,3890	0,3361
5,4362	6,9808	0,5564	0,4351	0,3827	0,3308
5,3616	7,7971	0,5425	0,4231	0,3718	0,3211
5,3371	7,3965	0,5285	0,4111	0,3609	0,3114
5,2622	7,3965	0,5146	0,3991	0,3500	0,3017
5,1934	7,7971	0,5006	0,3871	0,3391	0,2920
5,1498	8,3025	0,4894	0,3762	0,3287	0,2823
5,0315	9,5058	0,4827	0,3686	0,3211	0,2748
4,9881	7,3965	0,4687	0,3566	0,3102	0,2651
4,9768	6,9505	0,4594	0,3494	0,3039	0,2598
4,8022	7,6131	0,4454	0,3374	0,2930	0,2501
4,6811	9,5058	0,4386	0,3298	0,2854	0,2426
4,6648	6,9808	0,4293	0,3226	0,2791	0,2372
4,5580	6,6597	0,4199	0,3154	0,2728	0,2319
4,5342	6,9505	0,4105	0,3082	0,2665	0,2265
4,3375	6,5261	0,4012	0,3010	0,2602	0,2212
4,2950	7,6748	0,3872	0,2890	0,2493	0,2115
4,2935	6,5261	0,3778	0,2817	0,2431	0,2061
4,2743	5,8816	0,3634	0,2716	0,2346	0,1992
4,2173	6,4484	0,3541	0,2644	0,2283	0,1938
4,1565	6,5261	0,3447	0,2572	0,2220	0,1885
4,1361	7,6748	0,3307	0,2452	0,2111	0,1788
4,1264	6,9505	0,3214	0,2380	0,2048	0,1734
4,0975	5,7916	0,3070	0,2278	0,1964	0,1665
3,9123	7,6748	0,2930	0,2158	0,1855	0,1568
3,8857	6,0999	0,2836	0,2086	0,1792	0,1514
3,8781	6,4484	0,2743	0,2014	0,1729	0,1461
3,8622	6,9808	0,2649	0,1942	0,1666	0,1407
3,8474	6,0999	0,2555	0,1870	0,1603	0,1354
3,8274	5,6417	0,2411	0,1769	0,1518	0,1284
3,8078	6,0999	0,2318	0,1696	0,1456	0,1231
3,7282	6,0140	0,2224	0,1624	0,1393	0,1177
3,7133	5,8816	0,2080	0,1523	0,1308	0,1108
3,6893	5,6417	0,1936	0,1422	0,1223	0,1038
3,6762	5,8816	0,1792	0,1321	0,1138	0,0968
3,6757	5,6417	0,1648	0,1220	0,1054	0,0899
3,6469	5,7619	0,1503	0,1119	0,0969	0,0829
3,6461	5,7916	0,1359	0,1017	0,0884	0,0759
3,6283	6,0140	0,1266	0,0945	0,0821	0,0706
3,6282	5,7916	0,1122	0,0844	0,0737	0,0636
3,5798	5,7619	0,0978	0,0743	0,0652	0,0566
3,5758	6,4484	0,0884	0,0671	0,0589	0,0513
3,5676	6,6597	0,0790	0,0599	0,0526	0,0459
3,4903	6,6597	0,0696	0,0526	0,0463	0,0406
3,4685	6,0140	0,0603	0,0454	0,0400	0,0352
3,3539	5,7619	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,7131	5,5730	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,6497	5,5730	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,3796	5,5730	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

**Tabela V.5 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ ,  $\psi_k = 50^\circ$ )**

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
11,1636	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10,1408	14,9761	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>10,1090</b>	<b>14,6049</b>	0,9987	0,9964	<b>0,9947</b>	<b>0,9925</b>
<b>9,9648</b>	<b>12,6679</b>	0,9961	<b>0,9914</b>	0,9886	0,9852
9,7601	13,5108	0,9952	0,9893	0,9857	0,9815
9,7398	14,6972	0,9945	0,9875	0,9831	0,9777
9,6706	14,6049	0,9939	0,9857	0,9804	0,9740
9,5561	14,9761	0,9933	0,9839	0,9778	0,9703
9,4515	14,6972	0,9926	0,9820	0,9752	0,9666
<b>9,4146</b>	<b>14,2411</b>	<b>0,9920</b>	0,9802	0,9725	0,9628
9,4011	11,9132	0,9887	0,9751	0,9667	0,9563
9,3999	12,6679	0,9861	0,9702	0,9605	0,9489
9,3421	14,9761	0,9854	0,9683	0,9579	0,9452
9,3180	11,5683	0,9822	0,9632	0,9520	0,9386
9,2743	13,5108	0,9812	0,9611	0,9492	0,9349
9,1313	13,5108	0,9803	0,9590	0,9463	0,9312
9,0279	14,2411	0,9797	0,9572	0,9437	0,9275
9,0258	11,5683	0,9764	0,9521	0,9378	0,9210
9,0193	13,5808	0,9755	0,9499	0,9349	0,9172
8,9651	13,3098	0,9745	0,9478	0,9321	0,9135
8,9182	14,2411	0,9739	0,9460	0,9294	0,9098
8,9124	13,5808	0,9730	0,9439	0,9266	0,9061
8,7826	13,2828	0,9720	0,9417	0,9237	0,9024
8,7532	13,3098	0,9711	0,9396	0,9209	0,8987
8,6211	12,6279	0,9685	0,9346	0,9147	0,8913
8,6179	14,8827	0,9678	0,9328	0,9121	0,8876
8,5919	11,0595	0,9646	0,9277	0,9062	0,8810
8,5447	13,2828	0,9636	0,9256	0,9034	0,8773
8,4954	14,6972	0,9630	0,9238	0,9007	0,8736
8,4813	11,5683	0,9597	0,9187	0,8949	0,8671
8,2808	11,0595	0,9564	0,9135	0,8890	0,8605
8,2768	11,9132	0,9532	0,9084	0,8832	0,8540
8,2592	14,8827	0,9525	0,9066	0,8805	0,8502
8,2534	11,9132	0,9492	0,9015	0,8747	0,8437
8,2326	13,2828	0,9483	0,8994	0,8718	0,8400
8,2027	10,5713	0,9443	0,8941	0,8661	0,8341
8,1988	11,0595	0,9410	0,8890	0,8603	0,8275
8,1952	10,3797	0,9370	0,8837	0,8546	0,8216
8,1744	12,6279	0,9343	0,8788	0,8485	0,8143
8,0533	13,4825	0,9334	0,8766	0,8456	0,8105
8,0529	13,4825	0,9325	0,8745	0,8428	0,8068
8,0392	10,5713	0,9285	0,8692	0,8371	0,8009
7,9301	13,4825	0,9275	0,8671	0,8343	0,7972
7,8377	14,6049	0,9269	0,8653	0,8316	0,7935
7,7229	12,6279	0,9242	0,8603	0,8255	0,7861
7,6567	11,0524	0,9210	0,8552	0,8196	0,7796
7,6061	12,1150	0,9183	0,8502	0,8135	0,7722
7,5764	13,5808	0,9174	0,8481	0,8106	0,7685
7,5568	10,6359	0,9134	0,8428	0,8050	0,7626
7,5221	12,1150	0,9107	0,8379	0,7988	0,7552
7,4727	10,3797	0,9067	0,8326	0,7932	0,7493
7,4130	10,3797	0,9027	0,8273	0,7875	0,7434

7,2664	13,3098	0,9017	0,8252	0,7846	0,7397
7,2166	14,8827	0,9011	0,8234	0,7820	0,7360
7,1720	12,0183	0,8985	0,8184	0,7759	0,7286
7,1130	10,6359	0,8944	0,8131	0,7702	0,7227
7,1096	14,4343	0,8938	0,8113	0,7676	0,7189
7,0755	10,5713	0,8898	0,8060	0,7619	0,7130
7,0746	11,8091	0,8865	0,8009	0,7560	0,7065
7,0447	10,2545	0,8825	0,7956	0,7504	0,7006
6,9851	11,8091	0,8792	0,7905	0,7445	0,6940
6,9502	13,5960	0,8783	0,7884	0,7417	0,6903
6,9281	10,2545	0,8742	0,7831	0,7360	0,6844
6,8779	13,5960	0,8733	0,7810	0,7331	0,6807
6,8763	13,1998	0,8724	0,7789	0,7303	0,6770
6,8723	14,4343	0,8717	0,7771	0,7276	0,6732
6,8559	9,1807	0,8650	0,7695	0,7200	0,6657
6,8395	10,6359	0,8610	0,7642	0,7143	0,6598
6,7547	13,1998	0,8600	0,7621	0,7115	0,6561
6,7133	13,5960	0,8591	0,7599	0,7086	0,6524
6,6060	10,5127	0,8551	0,7547	0,7030	0,6465
6,5546	9,5221	0,8483	0,7471	0,6953	0,6390
6,5243	12,0183	0,8457	0,7421	0,6892	0,6316
6,4644	12,0183	0,8430	0,7372	0,6831	0,6242
6,3933	11,8091	0,8397	0,7321	0,6772	0,6177
6,3551	8,9072	0,8286	0,7212	0,6668	0,6080
6,3075	10,6978	0,8246	0,7159	0,6612	0,6021
6,2885	9,3912	0,8178	0,7083	0,6535	0,5946
6,2811	11,0524	0,8145	0,7032	0,6477	0,5880
6,1732	11,0524	0,8112	0,6981	0,6418	0,5815
6,1436	14,4343	0,8106	0,6963	0,6392	0,5778
6,0486	10,6978	0,8066	0,6910	0,6335	0,5718
6,0271	13,1998	0,8056	0,6889	0,6306	0,5681
5,9616	10,5127	0,8016	0,6836	0,6250	0,5622
5,9612	9,5221	0,7949	0,6760	0,6173	0,5547
5,9258	9,1807	0,7881	0,6685	0,6097	0,5472
5,9099	12,1150	0,7855	0,6635	0,6036	0,5398
5,9046	9,5221	0,7787	0,6559	0,5959	0,5323
5,8980	10,5127	0,7747	0,6507	0,5903	0,5264
5,5891	9,3912	0,7679	0,6431	0,5826	0,5189
5,5321	10,2545	0,7639	0,6378	0,5770	0,5130
5,3353	9,3912	0,7572	0,6302	0,5693	0,5054
5,3123	8,9072	0,7460	0,6194	0,5590	0,4958
5,2980	9,1807	0,7392	0,6118	0,5513	0,4883
5,2575	7,6748	0,7253	0,5998	0,5404	0,4786
5,1321	6,5261	0,7159	0,5926	0,5341	0,4732
5,0627	6,4484	0,7065	0,5853	0,5279	0,4679
5,0489	7,7971	0,6926	0,5733	0,5170	0,4582
4,9896	10,6978	0,6886	0,5681	0,5113	0,4523
4,9484	8,9072	0,6774	0,5572	0,5009	0,4426
4,9431	8,3025	0,6662	0,5463	0,4905	0,4329
4,9300	8,3376	0,6550	0,5354	0,4801	0,4232
4,9266	7,3965	0,6411	0,5234	0,4693	0,4135
4,8778	9,0288	0,6343	0,5159	0,4616	0,4060
4,8639	6,6597	0,6250	0,5086	0,4553	0,4007
4,8639	7,7971	0,6110	0,4966	0,4444	0,3910
4,8358	9,5058	0,6043	0,4891	0,4368	0,3835
4,8150	6,6597	0,5949	0,4818	0,4305	0,3781
4,8141	7,6748	0,5809	0,4698	0,4196	0,3684
4,7999	6,9808	0,5716	0,4626	0,4133	0,3631

4,7237	7,7971	0,5576	0,4506	0,4024	0,3534
4,6992	6,5261	0,5482	0,4434	0,3962	0,3481
4,6866	9,0288	0,5415	0,4358	0,3885	0,3405
4,5884	9,5058	0,5347	0,4283	0,3809	0,3330
4,5741	8,3025	0,5236	0,4174	0,3705	0,3233
4,5643	8,6011	0,5124	0,4065	0,3601	0,3137
4,5008	6,5261	0,5030	0,3993	0,3538	0,3083
4,4557	6,9808	0,4937	0,3921	0,3476	0,3030
4,4476	8,3376	0,4825	0,3812	0,3372	0,2933
4,4418	6,9505	0,4731	0,3739	0,3309	0,2879
4,4300	8,3025	0,4619	0,3631	0,3205	0,2782
4,4299	6,4484	0,4526	0,3558	0,3142	0,2729
4,3847	9,5058	0,4458	0,3483	0,3066	0,2654
4,3533	7,6131	0,4319	0,3363	0,2957	0,2557
4,3523	7,6131	0,4179	0,3243	0,2848	0,2460
4,3415	7,3965	0,4040	0,3123	0,2739	0,2363
4,3350	6,9505	0,3946	0,3051	0,2676	0,2310
4,3311	7,6748	0,3806	0,2931	0,2567	0,2213
4,3245	6,9808	0,3713	0,2858	0,2504	0,2159
4,3181	8,6011	0,3601	0,2750	0,2400	0,2063
4,3096	8,6011	0,3489	0,2641	0,2297	0,1966
4,1740	8,3376	0,3377	0,2532	0,2193	0,1869
4,1139	6,4484	0,3284	0,2460	0,2130	0,1816
4,1040	9,0288	0,3216	0,2384	0,2054	0,1740
4,0695	7,3965	0,3077	0,2264	0,1945	0,1644
4,0361	6,6597	0,2983	0,2192	0,1882	0,1590
4,0032	6,9505	0,2889	0,2120	0,1819	0,1536
4,0001	5,7619	0,2745	0,2018	0,1734	0,1467
3,8363	7,6131	0,2606	0,1899	0,1625	0,1370
3,8228	5,7619	0,2462	0,1797	0,1540	0,1300
3,8011	5,8816	0,2318	0,1696	0,1456	0,1231
3,6888	6,0140	0,2224	0,1624	0,1393	0,1177
3,5962	5,7619	0,2080	0,1523	0,1308	0,1108
3,5777	6,0140	0,1986	0,1451	0,1245	0,1054
3,5623	6,0140	0,1892	0,1379	0,1182	0,1000
3,5410	5,7916	0,1748	0,1277	0,1098	0,0931
3,5320	6,0999	0,1655	0,1205	0,1035	0,0877
3,4382	5,8816	0,1511	0,1104	0,0950	0,0808
3,3996	5,6417	0,1366	0,1003	0,0865	0,0738
3,3833	5,7916	0,1222	0,0902	0,0780	0,0668
3,2520	6,0999	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
3,2000	5,7916	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
3,1948	5,5730	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
3,0118	6,0999	0,0747	0,0555	0,0485	0,0422
2,9713	5,8816	0,0603	0,0454	0,0400	0,0352
2,9034	5,5730	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,7167	5,6417	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,6960	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,5286	5,5730	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

**Tabela V.6 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ ,  $\psi_k = 70^\circ$ )**

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,2611	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>7,0611</b>	<b>12,0183</b>	0,9974	0,9950	0,9939	<b>0,9926</b>
<b>6,8416</b>	<b>14,9761</b>	0,9967	<b>0,9932</b>	<b>0,9912</b>	0,9889
6,8313	11,8091	0,9934	0,9881	0,9854	0,9824
6,7517	13,4825	0,9925	0,9860	0,9825	0,9787
6,7504	13,5108	0,9916	0,9839	0,9796	0,9749
<b>6,7245</b>	<b>13,5108</b>	<b>0,9907</b>	0,9817	0,9768	0,9712
6,7196	13,5108	0,9897	0,9796	0,9739	0,9675
6,6838	13,4825	0,9888	0,9775	0,9711	0,9638
6,6371	13,1998	0,9879	0,9753	0,9682	0,9601
6,6020	13,3098	0,9869	0,9732	0,9654	0,9564
6,5680	14,8827	0,9863	0,9714	0,9627	0,9527
6,5507	12,6679	0,9837	0,9664	0,9566	0,9453
6,5346	13,1998	0,9827	0,9643	0,9537	0,9416
6,5235	12,6279	0,9801	0,9593	0,9476	0,9342
6,4760	12,6279	0,9774	0,9543	0,9415	0,9269
6,3014	14,8827	0,9768	0,9525	0,9388	0,9231
6,2183	11,8091	0,9735	0,9474	0,9330	0,9166
6,1954	11,5683	0,9703	0,9423	0,9271	0,9101
6,1869	14,6049	0,9696	0,9405	0,9245	0,9063
6,1581	12,6679	0,9670	0,9355	0,9183	0,8990
6,1312	11,8091	0,9637	0,9304	0,9125	0,8924
6,0945	13,5960	0,9628	0,9283	0,9096	0,8887
6,0874	11,9132	0,9595	0,9232	0,9037	0,8822
6,0664	14,9761	0,9589	0,9214	0,9011	0,8784
6,0573	13,2828	0,9579	0,9193	0,8982	0,8747
6,0234	8,6011	0,9468	0,9084	0,8879	0,8651
6,0180	10,6359	0,9427	0,9031	0,8822	0,8591
5,9561	13,5960	0,9418	0,9010	0,8793	0,8554
5,8927	12,0183	0,9392	0,8960	0,8732	0,8481
5,8924	11,0595	0,9359	0,8909	0,8673	0,8415
5,8818	12,0183	0,9332	0,8859	0,8612	0,8342
5,8817	14,6049	0,9326	0,8841	0,8586	0,8304
5,8800	8,6011	0,9214	0,8732	0,8482	0,8207
5,8615	14,6049	0,9208	0,8714	0,8455	0,8170
5,8480	9,5058	0,9140	0,8639	0,8379	0,8095
5,8359	10,2545	0,9100	0,8586	0,8322	0,8036
5,7878	12,6279	0,9074	0,8536	0,8261	0,7962
5,7767	11,5683	0,9041	0,8485	0,8202	0,7897
5,7480	10,6359	0,9001	0,8432	0,8146	0,7838
5,7475	11,9132	0,8968	0,8381	0,8087	0,7772
5,7129	11,0524	0,8935	0,8330	0,8029	0,7707
5,6984	9,5058	0,8867	0,8254	0,7952	0,7632
5,6945	9,5058	0,8800	0,8179	0,7876	0,7556
5,6440	14,8827	0,8794	0,8161	0,7849	0,7519
5,6083	8,9072	0,8682	0,8052	0,7746	0,7422
5,6004	11,0595	0,8649	0,8001	0,7687	0,7357
5,5906	13,2828	0,8640	0,7979	0,7658	0,7320
5,5490	13,5960	0,8631	0,7958	0,7630	0,7283
5,4854	14,2411	0,8624	0,7940	0,7604	0,7245
5,4759	10,2545	0,8584	0,7887	0,7547	0,7186
5,4704	13,4825	0,8575	0,7866	0,7518	0,7149

5,4500	14,2411	0,8568	0,7848	0,7492	0,7112
5,4440	12,1150	0,8542	0,7798	0,7431	0,7038
5,4401	11,0595	0,8509	0,7747	0,7372	0,6973
5,4284	14,6972	0,8503	0,7729	0,7346	0,6935
5,4018	11,5683	0,8470	0,7678	0,7287	0,6870
5,3642	14,9761	0,8464	0,7660	0,7261	0,6833
5,3522	13,3098	0,8454	0,7638	0,7232	0,6796
5,3425	14,6972	0,8448	0,7620	0,7206	0,6758
5,3348	13,2828	0,8439	0,7599	0,7177	0,6721
5,3137	13,5808	0,8429	0,7578	0,7148	0,6684
5,2915	10,2545	0,8389	0,7525	0,7092	0,6625
5,2418	14,6972	0,8383	0,7507	0,7065	0,6588
5,2337	13,5808	0,8374	0,7486	0,7037	0,6551
5,2225	13,3098	0,8364	0,7464	0,7008	0,6514
5,1834	11,9132	0,8331	0,7413	0,6950	0,6448
5,1317	10,6359	0,8291	0,7360	0,6893	0,6389
5,0690	14,4343	0,8285	0,7342	0,6867	0,6352
4,9982	14,4343	0,8279	0,7324	0,6840	0,6314
4,9751	14,2411	0,8272	0,7306	0,6814	0,6277
4,8794	14,4343	0,8266	0,7288	0,6787	0,6240
4,8707	12,1150	0,8239	0,7238	0,6726	0,6166
4,8587	11,0524	0,8207	0,7187	0,6667	0,6101
4,8555	8,6011	0,8095	0,7078	0,6564	0,6004
4,8316	13,1998	0,8086	0,7057	0,6535	0,5967
4,7706	13,5808	0,8076	0,7036	0,6506	0,5930
4,7140	9,0288	0,8009	0,6960	0,6430	0,5855
4,6949	8,9072	0,7897	0,6851	0,6326	0,5758
4,6278	6,5261	0,7803	0,6779	0,6263	0,5704
4,5944	8,9072	0,7692	0,6670	0,6160	0,5608
4,5922	12,1150	0,7665	0,6621	0,6098	0,5534
4,5779	7,6748	0,7526	0,6501	0,5989	0,5437
4,5656	10,6978	0,7485	0,6448	0,5933	0,5378
4,5247	11,0524	0,7453	0,6397	0,5874	0,5312
4,5174	7,6131	0,7313	0,6277	0,5765	0,5216
4,4799	8,3376	0,7201	0,6168	0,5661	0,5119
4,4532	10,3797	0,7161	0,6115	0,5605	0,5060
4,4193	10,5127	0,7121	0,6062	0,5548	0,5000
4,3632	9,1807	0,7053	0,5987	0,5472	0,4925
4,3593	9,1807	0,6986	0,5911	0,5395	0,4850
4,2994	10,6978	0,6946	0,5858	0,5339	0,4791
4,2414	10,5713	0,6905	0,5805	0,5282	0,4732
4,1908	7,7971	0,6766	0,5685	0,5173	0,4635
4,1688	10,5713	0,6725	0,5633	0,5116	0,4576
4,1522	9,0288	0,6658	0,5557	0,5040	0,4501
4,1255	9,3912	0,6590	0,5481	0,4964	0,4426
4,1002	7,6748	0,6451	0,5361	0,4855	0,4329
4,0929	10,5127	0,6411	0,5308	0,4798	0,4270
4,0859	6,5261	0,6317	0,5236	0,4735	0,4216
4,0846	7,6131	0,6177	0,5116	0,4626	0,4119
4,0831	9,5221	0,6110	0,5041	0,4550	0,4044
4,0829	10,5713	0,6069	0,4988	0,4493	0,3985
4,0705	10,3797	0,6029	0,4935	0,4437	0,3926
4,0475	9,0288	0,5962	0,4859	0,4360	0,3851
4,0313	9,3912	0,5894	0,4784	0,4284	0,3775
4,0217	10,5127	0,5854	0,4731	0,4227	0,3716
4,0113	9,5221	0,5786	0,4655	0,4151	0,3641
4,0107	10,6978	0,5746	0,4602	0,4094	0,3582
3,9850	9,3912	0,5679	0,4527	0,4018	0,3507

3,9779	7,6748	0,5539	0,4407	0,3909	0,3410
3,9510	10,3797	0,5499	0,4354	0,3852	0,3351
3,9269	8,3376	0,5387	0,4245	0,3749	0,3254
3,9020	7,7971	0,5247	0,4125	0,3640	0,3157
3,8910	9,1807	0,5180	0,4049	0,3563	0,3082
3,8817	6,0999	0,5086	0,3977	0,3500	0,3028
3,8441	7,6131	0,4947	0,3857	0,3391	0,2932
3,8088	6,0999	0,4853	0,3785	0,3329	0,2878
3,7736	6,4484	0,4759	0,3713	0,3266	0,2825
3,7627	6,4484	0,4666	0,3640	0,3203	0,2771
3,7574	6,5261	0,4572	0,3568	0,3140	0,2717
3,7026	7,7971	0,4432	0,3448	0,3031	0,2621
3,6626	6,6597	0,4339	0,3376	0,2968	0,2567
3,6543	6,6597	0,4245	0,3304	0,2906	0,2514
3,6381	8,3376	0,4133	0,3195	0,2802	0,2417
3,6256	5,8816	0,3989	0,3094	0,2717	0,2347
3,6248	6,0999	0,3895	0,3022	0,2654	0,2294
3,6111	6,4484	0,3802	0,2949	0,2591	0,2240
3,5709	8,3025	0,3690	0,2841	0,2487	0,2143
3,5666	7,3965	0,3550	0,2721	0,2378	0,2046
3,5428	5,5730	0,3406	0,2620	0,2294	0,1977
3,5288	5,7916	0,3262	0,2518	0,2209	0,1907
3,5175	5,5730	0,3118	0,2417	0,2124	0,1838
3,5057	6,9505	0,3025	0,2345	0,2061	0,1784
3,4767	8,3025	0,2913	0,2236	0,1957	0,1687
3,4347	5,8816	0,2769	0,2135	0,1873	0,1618
3,3684	6,9505	0,2675	0,2063	0,1810	0,1564
3,3187	9,5221	0,2608	0,1987	0,1734	0,1489
3,2982	6,9808	0,2514	0,1915	0,1671	0,1435
3,2938	6,6597	0,2420	0,1843	0,1608	0,1382
3,2770	6,9505	0,2326	0,1771	0,1545	0,1328
3,2607	5,8816	0,2182	0,1670	0,1460	0,1259
3,1769	8,3025	0,2071	0,1561	0,1356	0,1162
3,1348	7,3965	0,1931	0,1441	0,1247	0,1065
3,1302	6,0140	0,1837	0,1369	0,1185	0,1011
3,0536	6,9808	0,1744	0,1296	0,1122	0,0958
3,0352	5,7619	0,1600	0,1195	0,1037	0,0888
3,0109	6,0140	0,1506	0,1123	0,0974	0,0835
3,0002	5,7619	0,1362	0,1022	0,0889	0,0765
2,9718	6,9808	0,1268	0,0950	0,0827	0,0712
2,8751	7,3965	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
2,8469	5,7619	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
2,8261	5,7916	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
2,7252	5,6417	0,0696	0,0526	0,0463	0,0406
2,6517	5,5730	0,0552	0,0425	0,0379	0,0336
2,6001	5,7916	0,0408	0,0324	0,0294	0,0266
2,5934	6,0140	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,5804	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,5100	5,6417	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074



**Tabela V.7 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 24$ ,  $\psi_k = 85^\circ$ )**

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,5853	14,9761	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7,4981	14,8827	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>7,4677</b>	<b>14,9761</b>	0,9987	0,9964	0,9947	<b>0,9925</b>
<b>7,4569</b>	<b>13,1998</b>	0,9978	0,9942	<b>0,9919</b>	0,9888
7,4058	13,5108	0,9969	0,9921	0,9890	0,9851
<b>7,3734</b>	<b>13,3098</b>	0,9960	<b>0,9900</b>	0,9861	0,9814
7,3669	14,6049	0,9953	0,9882	0,9835	0,9777
7,3151	13,5960	0,9944	0,9860	0,9807	0,9740
7,3141	13,4825	0,9935	0,9839	0,9778	0,9703
7,2929	13,1998	0,9925	0,9818	0,9749	0,9666
7,2627	14,6049	0,9919	0,9800	0,9723	0,9628
7,2175	13,4825	0,9910	0,9778	0,9694	0,9591
<b>7,1985</b>	<b>14,9761</b>	<b>0,9903</b>	0,9760	0,9668	0,9554
7,1534	14,6049	0,9897	0,9742	0,9642	0,9517
7,1002	13,5108	0,9888	0,9721	0,9613	0,9480
7,0996	13,5960	0,9879	0,9699	0,9584	0,9443
7,0185	14,8827	0,9872	0,9681	0,9558	0,9405
6,9605	13,4825	0,9863	0,9660	0,9529	0,9368
6,9119	13,5108	0,9854	0,9639	0,9501	0,9331
6,7937	13,2828	0,9844	0,9617	0,9472	0,9294
6,7078	14,8827	0,9838	0,9599	0,9446	0,9257
6,6396	14,2411	0,9832	0,9581	0,9420	0,9220
6,6085	13,5960	0,9822	0,9560	0,9391	0,9182
6,5770	13,2828	0,9813	0,9538	0,9362	0,9145
6,4875	14,6972	0,9807	0,9520	0,9336	0,9108
6,4835	14,6972	0,9801	0,9502	0,9310	0,9071
6,4509	14,6972	0,9794	0,9484	0,9283	0,9033
6,4355	13,3098	0,9785	0,9463	0,9255	0,8996
6,3328	14,4343	0,9779	0,9445	0,9228	0,8959
6,3157	13,2828	0,9769	0,9423	0,9200	0,8922
6,2631	13,5808	0,9760	0,9402	0,9171	0,8885
6,2189	14,4343	0,9754	0,9384	0,9145	0,8848
6,1899	13,1998	0,9744	0,9363	0,9116	0,8811
6,1592	11,5683	0,9712	0,9312	0,9057	0,8745
6,0652	11,5683	0,9679	0,9260	0,8999	0,8680
6,0595	14,4343	0,9672	0,9242	0,8972	0,8642
6,0091	13,5808	0,9663	0,9221	0,8944	0,8605
5,9838	14,2411	0,9657	0,9203	0,8917	0,8568
5,9500	12,6679	0,9630	0,9153	0,8856	0,8494
5,9352	13,3098	0,9621	0,9132	0,8828	0,8457
5,9240	11,9132	0,9588	0,9081	0,8769	0,8392
5,7126	13,5808	0,9579	0,9060	0,8740	0,8355
5,6824	10,3797	0,9539	0,9007	0,8684	0,8296
5,6602	12,6679	0,9512	0,8957	0,8622	0,8222
5,6584	10,5713	0,9472	0,8904	0,8566	0,8163
5,6246	11,9132	0,9439	0,8853	0,8507	0,8097
5,6153	11,8091	0,9406	0,8802	0,8449	0,8032
5,5890	8,9072	0,9295	0,8693	0,8345	0,7935
5,5647	11,9132	0,9262	0,8642	0,8286	0,7870
5,5512	10,5713	0,9222	0,8590	0,8229	0,7811
5,4994	14,2411	0,9215	0,8571	0,8203	0,7773
5,4383	12,6679	0,9189	0,8522	0,8142	0,7700

5,4091	10,3797	0,9149	0,8469	0,8085	0,7640
5,3854	10,5713	0,9108	0,8416	0,8028	0,7581
5,3594	11,5683	0,9076	0,8365	0,7970	0,7516
5,2509	10,3797	0,9035	0,8312	0,7913	0,7457
5,1739	12,6279	0,9009	0,8263	0,7852	0,7383
5,1577	11,8091	0,8976	0,8212	0,7793	0,7318
5,0614	11,8091	0,8943	0,8161	0,7735	0,7252
5,0589	10,6359	0,8903	0,8108	0,7678	0,7193
5,0569	9,5058	0,8835	0,8032	0,7602	0,7118
4,9813	10,6359	0,8795	0,7979	0,7545	0,7059
4,9779	10,6359	0,8755	0,7927	0,7488	0,6999
4,9056	11,0595	0,8722	0,7876	0,7430	0,6934
4,9045	12,6279	0,8696	0,7826	0,7369	0,6860
4,8415	12,0183	0,8669	0,7776	0,7307	0,6787
4,8183	8,9072	0,8557	0,7667	0,7203	0,6690
4,7185	11,0595	0,8525	0,7616	0,7145	0,6624
4,6304	8,9072	0,8413	0,7508	0,7041	0,6528
4,6085	10,2545	0,8373	0,7455	0,6984	0,6468
4,6077	12,0183	0,8346	0,7405	0,6923	0,6395
4,5975	9,5058	0,8279	0,7329	0,6847	0,6320
4,4279	10,2545	0,8238	0,7277	0,6790	0,6260
4,4015	9,3912	0,8171	0,7201	0,6714	0,6185
4,3904	12,6279	0,8144	0,7151	0,6652	0,6112
4,3884	9,0288	0,8077	0,7076	0,6576	0,6037
4,3217	8,6011	0,7965	0,6967	0,6472	0,5940
4,2984	10,2545	0,7925	0,6914	0,6415	0,5881
4,2942	12,1150	0,7898	0,6864	0,6354	0,5807
4,2903	11,0595	0,7866	0,6813	0,6295	0,5741
4,2593	11,0524	0,7833	0,6762	0,6237	0,5676
4,2454	9,5058	0,7765	0,6686	0,6160	0,5601
4,1960	10,5127	0,7725	0,6634	0,6104	0,5542
4,1851	11,0524	0,7692	0,6583	0,6045	0,5476
4,1768	12,0183	0,7666	0,6533	0,5984	0,5403
4,1095	8,6011	0,7554	0,6424	0,5880	0,5306
4,0780	9,3912	0,7486	0,6348	0,5804	0,5231
4,0362	7,7971	0,7347	0,6228	0,5695	0,5134
4,0146	9,5221	0,7279	0,6153	0,5618	0,5059
3,9904	9,3912	0,7212	0,6077	0,5542	0,4984
3,9826	10,6978	0,7172	0,6024	0,5485	0,4924
3,9324	12,1150	0,7145	0,5975	0,5424	0,4851
3,9284	12,1150	0,7119	0,5925	0,5363	0,4777
3,9213	11,0524	0,7086	0,5874	0,5304	0,4712
3,9060	9,0288	0,7018	0,5798	0,5228	0,4636
3,8579	9,0288	0,6951	0,5722	0,5151	0,4561
3,8546	10,5127	0,6911	0,5670	0,5095	0,4502
3,8031	8,6011	0,6799	0,5561	0,4991	0,4405
3,7930	7,7971	0,6659	0,5441	0,4882	0,4308
3,7176	9,1807	0,6592	0,5365	0,4805	0,4233
3,7171	10,6978	0,6551	0,5312	0,4749	0,4174
3,6994	10,5127	0,6511	0,5260	0,4692	0,4115
3,6962	8,3376	0,6400	0,5151	0,4588	0,4018
3,6734	9,5221	0,6332	0,5075	0,4512	0,3943
3,6652	8,3376	0,6220	0,4966	0,4408	0,3846
3,5905	6,9808	0,6127	0,4894	0,4345	0,3793
3,5846	8,3025	0,6015	0,4785	0,4242	0,3696
3,5453	10,6978	0,5975	0,4732	0,4185	0,3637
3,5449	7,7971	0,5835	0,4612	0,4076	0,3540
3,5163	6,9808	0,5741	0,4540	0,4013	0,3486

3,4928	7,6748	0,5602	0,4420	0,3904	0,3390
3,4823	8,3376	0,5490	0,4311	0,3800	0,3293
3,4469	9,1807	0,5423	0,4236	0,3724	0,3218
3,4149	8,3025	0,5311	0,4127	0,3620	0,3121
3,3666	8,3025	0,5199	0,4018	0,3516	0,3024
3,3615	6,6597	0,5105	0,3946	0,3454	0,2970
3,3600	7,6748	0,4966	0,3826	0,3345	0,2874
3,3599	9,1807	0,4898	0,3750	0,3268	0,2799
3,3584	6,5261	0,4805	0,3678	0,3205	0,2745
3,3531	6,9808	0,4711	0,3606	0,3143	0,2691
3,3357	5,5730	0,4567	0,3505	0,3058	0,2622
3,3230	6,6597	0,4473	0,3432	0,2995	0,2568
3,3079	7,6131	0,4334	0,3312	0,2886	0,2471
3,2995	5,6417	0,4190	0,3211	0,2801	0,2402
3,2901	5,5730	0,4046	0,3110	0,2716	0,2332
3,2636	5,6417	0,3901	0,3009	0,2632	0,2262
3,2504	7,6131	0,3762	0,2889	0,2523	0,2166
3,2426	6,5261	0,3668	0,2817	0,2460	0,2112
3,2411	5,5730	0,3524	0,2716	0,2375	0,2042
3,1885	7,6748	0,3385	0,2596	0,2266	0,1946
3,1650	5,7916	0,3240	0,2495	0,2181	0,1876
3,1638	6,0140	0,3147	0,2423	0,2118	0,1822
3,1582	6,0140	0,3053	0,2350	0,2056	0,1769
3,1118	6,0999	0,2959	0,2278	0,1993	0,1715
3,0954	6,6597	0,2866	0,2206	0,1930	0,1662
3,0525	5,7916	0,2722	0,2105	0,1845	0,1592
3,0254	6,0140	0,2628	0,2033	0,1782	0,1539
2,9972	9,5221	0,2560	0,1957	0,1706	0,1464
2,9844	5,7916	0,2416	0,1856	0,1621	0,1394
2,9694	6,0999	0,2323	0,1784	0,1558	0,1340
2,9550	5,6417	0,2179	0,1682	0,1474	0,1271
2,9420	6,5261	0,2085	0,1610	0,1411	0,1217
2,8988	7,6131	0,1945	0,1490	0,1302	0,1120
2,8878	6,9505	0,1852	0,1418	0,1239	0,1067
2,8820	6,0999	0,1758	0,1346	0,1176	0,1013
2,8763	5,8816	0,1614	0,1245	0,1091	0,0944
2,8181	5,7619	0,1470	0,1144	0,1007	0,0874
2,7683	6,9505	0,1376	0,1071	0,0944	0,0821
2,7591	7,3965	0,1237	0,0951	0,0835	0,0724
2,7184	5,8816	0,1092	0,0850	0,0750	0,0654
2,6840	6,9505	0,0999	0,0778	0,0687	0,0600
2,6769	7,3965	0,0859	0,0658	0,0578	0,0504
2,6567	7,3965	0,0720	0,0538	0,0469	0,0407
2,6367	6,4484	0,0626	0,0466	0,0406	0,0353
2,5618	5,7619	0,0482	0,0365	0,0322	0,0284
2,5448	5,8816	0,0338	0,0264	0,0237	0,0214
2,5404	5,7619	0,0194	0,0163	0,0152	0,0144
2,5139	6,4484	0,0100	0,0090	0,0089	0,0091
2,3913	6,4484	0,0006	0,0018	0,0026	0,0037

Tabela V.8 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 12$ ,  $\psi_k = 30^\circ$ )

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
12,8074	14,6972	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>12,7340</b>	<b>12,6679</b>	0,9974	0,9950	0,9939	<b>0,9926</b>
<b>12,5182</b>	<b>14,8827</b>	0,9967	0,9932	<b>0,9912</b>	0,9889
<b>12,3587</b>	<b>14,6049</b>	0,9961	<b>0,9914</b>	0,9886	0,9852
12,3443	13,5108	0,9952	0,9893	0,9857	0,9815
12,3364	14,9761	0,9945	0,9875	0,9831	0,9777
12,2215	13,5108	0,9936	0,9853	0,9802	0,9740
12,0503	14,8827	0,9930	0,9835	0,9776	0,9703
11,9953	13,5108	0,9920	0,9814	0,9747	0,9666
11,8259	14,2411	0,9914	0,9796	0,9721	0,9629
<b>11,7535</b>	<b>14,2411</b>	<b>0,9908</b>	0,9778	0,9694	0,9591
11,7411	11,9132	0,9875	0,9727	0,9636	0,9526
11,7095	14,9761	0,9869	0,9709	0,9609	0,9489
11,6841	13,2828	0,9859	0,9687	0,9581	0,9452
11,6344	14,2411	0,9853	0,9669	0,9554	0,9414
11,6290	11,9132	0,9820	0,9618	0,9496	0,9349
11,6039	14,9761	0,9814	0,9600	0,9469	0,9312
11,5893	13,3098	0,9805	0,9579	0,9441	0,9274
11,5794	13,3098	0,9795	0,9557	0,9412	0,9237
11,4656	14,6049	0,9789	0,9539	0,9386	0,9200
11,4579	12,6679	0,9763	0,9490	0,9325	0,9126
11,4522	14,6972	0,9756	0,9471	0,9298	0,9089
11,1654	13,4825	0,9747	0,9450	0,9270	0,9052
11,1247	12,6679	0,9720	0,9400	0,9208	0,8978
11,0921	11,0524	0,9688	0,9349	0,9150	0,8913
11,0448	13,2828	0,9678	0,9328	0,9121	0,8876
10,9947	11,9132	0,9646	0,9277	0,9062	0,8810
10,7812	10,6978	0,9605	0,9224	0,9006	0,8751
10,6787	12,1150	0,9579	0,9175	0,8944	0,8678
10,6612	13,4825	0,9570	0,9153	0,8916	0,8641
10,5991	10,5713	0,9529	0,9100	0,8859	0,8581
10,5796	12,1150	0,9503	0,9051	0,8798	0,8508
10,4207	11,0524	0,9470	0,9000	0,8739	0,8442
10,4011	10,2545	0,9430	0,8947	0,8683	0,8383
10,3987	12,6279	0,9403	0,8897	0,8621	0,8309
10,3698	11,5683	0,9371	0,8846	0,8563	0,8244
10,3582	13,5960	0,9361	0,8825	0,8534	0,8207
10,3439	10,6978	0,9321	0,8772	0,8477	0,8148
10,3298	14,6972	0,9315	0,8754	0,8451	0,8110
10,2952	14,6049	0,9308	0,8736	0,8425	0,8073
10,2901	13,5808	0,9299	0,8715	0,8396	0,8036
10,2581	13,2828	0,9290	0,8693	0,8368	0,7999
10,2003	10,2545	0,9249	0,8641	0,8311	0,7940
10,1360	12,0183	0,9223	0,8591	0,8250	0,7866
10,0935	10,5713	0,9183	0,8538	0,8193	0,7807
10,0787	13,4825	0,9173	0,8517	0,8164	0,7770
10,0583	14,8827	0,9167	0,8499	0,8138	0,7733
10,0515	11,5683	0,9134	0,8448	0,8079	0,7667
10,0321	11,8091	0,9102	0,8397	0,8021	0,7602
10,0017	14,4343	0,9095	0,8378	0,7994	0,7565
9,9995	13,3098	0,9086	0,8357	0,7966	0,7527
9,8532	14,4343	0,9080	0,8339	0,7939	0,7490

9,7129	11,0524	0,9047	0,8288	0,7881	0,7425
9,6882	10,6978	0,9007	0,8235	0,7824	0,7366
9,6615	11,8091	0,8974	0,8184	0,7766	0,7300
9,6040	12,1150	0,8947	0,8134	0,7704	0,7226
9,5510	13,5960	0,8938	0,8113	0,7676	0,7189
9,5341	12,6279	0,8912	0,8063	0,7614	0,7116
9,5033	13,1998	0,8902	0,8042	0,7586	0,7079
9,4674	10,6359	0,8862	0,7989	0,7529	0,7019
9,3460	14,4343	0,8856	0,7971	0,7503	0,6982
9,3407	11,5683	0,8823	0,7920	0,7444	0,6917
9,2856	12,0183	0,8796	0,7871	0,7383	0,6843
9,2457	13,1998	0,8787	0,7849	0,7354	0,6806
9,2206	12,6279	0,8761	0,7800	0,7293	0,6732
9,1829	9,5221	0,8693	0,7724	0,7216	0,6657
9,1805	9,5221	0,8626	0,7648	0,7140	0,6582
9,1100	13,5960	0,8616	0,7627	0,7111	0,6545
9,0954	13,5808	0,8607	0,7605	0,7083	0,6508
9,0308	11,0595	0,8574	0,7554	0,7024	0,6442
9,0068	13,1998	0,8565	0,7533	0,6996	0,6405
8,8878	11,0595	0,8532	0,7482	0,6937	0,6340
8,5536	9,5221	0,8465	0,7406	0,6861	0,6265
8,4887	10,5713	0,8424	0,7353	0,6804	0,6206
8,4792	11,0595	0,8391	0,7302	0,6746	0,6140
8,4668	13,5808	0,8382	0,7281	0,6717	0,6103
8,4113	10,2545	0,8342	0,7228	0,6660	0,6044
8,2189	9,1807	0,8274	0,7153	0,6584	0,5969
8,2186	12,0183	0,8248	0,7103	0,6523	0,5895
8,2015	8,9072	0,8136	0,6994	0,6419	0,5798
8,1757	9,3912	0,8069	0,6918	0,6342	0,5723
8,1130	11,8091	0,8036	0,6867	0,6284	0,5658
7,9372	9,1807	0,7968	0,6792	0,6207	0,5583
7,9131	10,6359	0,7928	0,6739	0,6151	0,5523
7,7725	8,3376	0,7816	0,6630	0,6047	0,5427
7,7400	10,6359	0,7776	0,6577	0,5990	0,5367
7,7214	10,5127	0,7736	0,6525	0,5934	0,5308
7,5354	10,3797	0,7696	0,6472	0,5877	0,5249
7,4541	9,3912	0,7628	0,6396	0,5801	0,5174
7,3448	9,0288	0,7561	0,6320	0,5724	0,5099
7,3291	8,6011	0,7449	0,6211	0,5621	0,5002
7,2942	8,3376	0,7337	0,6103	0,5517	0,4905
7,2215	10,3797	0,7297	0,6050	0,5460	0,4846
7,2139	10,5127	0,7257	0,5997	0,5404	0,4787
7,2005	8,9072	0,7145	0,5888	0,5300	0,4690
7,1155	8,6011	0,7033	0,5779	0,5196	0,4593
7,0959	8,3025	0,6921	0,5671	0,5092	0,4496
7,0297	10,3797	0,6881	0,5618	0,5035	0,4437
6,7526	8,6011	0,6770	0,5509	0,4932	0,4341
6,5801	8,3376	0,6658	0,5400	0,4828	0,4244
6,4834	9,1807	0,6590	0,5325	0,4751	0,4169
6,3418	8,9072	0,6479	0,5216	0,4648	0,4072
6,1529	9,0288	0,6411	0,5140	0,4571	0,3997
6,1060	9,3912	0,6344	0,5064	0,4495	0,3921
6,0136	7,6131	0,6204	0,4944	0,4386	0,3825
5,9147	10,5127	0,6164	0,4892	0,4329	0,3765
5,8184	7,6131	0,6024	0,4772	0,4220	0,3669
5,7125	9,0288	0,5957	0,4696	0,4144	0,3593
5,6685	7,7971	0,5817	0,4576	0,4035	0,3497
5,5296	8,3025	0,5705	0,4467	0,3931	0,3400

5,5121	9,5058	0,5638	0,4391	0,3855	0,3325
5,3964	6,9808	0,5544	0,4319	0,3792	0,3271
5,3675	7,3965	0,5405	0,4199	0,3683	0,3174
5,3620	7,7971	0,5265	0,4079	0,3574	0,3078
5,2932	7,3965	0,5125	0,3959	0,3465	0,2981
5,2261	7,7971	0,4986	0,3839	0,3356	0,2884
5,1597	8,3025	0,4874	0,3730	0,3252	0,2787
5,0262	9,5058	0,4807	0,3655	0,3176	0,2712
4,9762	7,3965	0,4667	0,3535	0,3067	0,2615
4,9669	6,9505	0,4573	0,3463	0,3004	0,2562
4,7857	7,6131	0,4434	0,3343	0,2895	0,2465
4,6496	9,5058	0,4366	0,3267	0,2819	0,2390
4,6364	6,9808	0,4273	0,3195	0,2756	0,2336
4,5667	6,6597	0,4179	0,3122	0,2693	0,2283
4,5383	6,9505	0,4085	0,3050	0,2630	0,2229
4,3337	6,5261	0,3992	0,2978	0,2567	0,2175
4,3248	7,6748	0,3852	0,2858	0,2458	0,2079
4,3012	6,5261	0,3758	0,2786	0,2396	0,2025
4,2941	5,8816	0,3614	0,2685	0,2311	0,1955
4,2083	6,4484	0,3521	0,2612	0,2248	0,1902
4,1861	6,5261	0,3427	0,2540	0,2185	0,1848
4,1130	7,6748	0,3287	0,2420	0,2076	0,1752
4,1066	5,7916	0,3143	0,2319	0,1991	0,1682
4,0899	6,9505	0,3050	0,2247	0,1929	0,1628
3,8970	7,6748	0,2910	0,2127	0,1820	0,1532
3,8931	6,4484	0,2816	0,2055	0,1757	0,1478
3,8798	6,0999	0,2723	0,1982	0,1694	0,1425
3,8571	6,9808	0,2629	0,1910	0,1631	0,1371
3,8389	6,0999	0,2535	0,1838	0,1568	0,1317
3,8329	5,6417	0,2391	0,1737	0,1484	0,1248
3,8222	6,0999	0,2297	0,1665	0,1421	0,1194
3,7150	5,6417	0,2153	0,1564	0,1336	0,1125
3,7134	5,8816	0,2009	0,1463	0,1251	0,1055
3,7072	5,6417	0,1865	0,1361	0,1166	0,0985
3,7021	6,0140	0,1771	0,1289	0,1104	0,0932
3,6781	5,8816	0,1627	0,1188	0,1019	0,0862
3,6572	5,7916	0,1483	0,1087	0,0934	0,0793
3,6412	6,0140	0,1390	0,1015	0,0871	0,0739
3,6390	5,7619	0,1246	0,0914	0,0786	0,0669
3,6072	5,7916	0,1101	0,0813	0,0702	0,0600
3,5976	6,6597	0,1008	0,0740	0,0639	0,0546
3,5550	5,7619	0,0864	0,0639	0,0554	0,0476
3,5426	6,4484	0,0770	0,0567	0,0491	0,0423
3,4711	6,6597	0,0676	0,0495	0,0428	0,0369
3,4631	6,0140	0,0583	0,0423	0,0366	0,0316
3,3805	5,7619	0,0439	0,0321	0,0281	0,0246
2,7117	5,5730	0,0294	0,0220	0,0196	0,0177
2,6288	5,5730	0,0150	0,0119	0,0111	0,0107
2,3627	5,5730	0,0006	0,0018	0,0026	0,0037

Tabela V.9 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 12$ ,  $\psi_k = 50^\circ$ )

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
11,0820	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10,1471	14,6049	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>10,1297</b>	<b>14,9761</b>	0,9987	0,9964	<b>0,9947</b>	<b>0,9925</b>
<b>9,8884</b>	<b>12,6679</b>	0,9961	<b>0,9914</b>	0,9886	0,9852
9,8014	13,5108	0,9952	0,9893	0,9857	0,9815
9,7042	14,6049	0,9945	0,9875	0,9831	0,9777
9,6585	14,6972	0,9939	0,9857	0,9804	0,9740
9,5375	14,9761	0,9933	0,9839	0,9778	0,9703
<b>9,4400</b>	<b>11,9132</b>	<b>0,9900</b>	0,9787	0,9719	0,9637
9,4299	14,6972	0,9894	0,9769	0,9693	0,9600
9,3272	14,2411	0,9887	0,9751	0,9667	0,9563
9,3132	14,9761	0,9881	0,9733	0,9640	0,9525
9,3112	12,6679	0,9854	0,9683	0,9579	0,9452
9,3110	11,5683	0,9822	0,9632	0,9520	0,9386
9,2044	13,5108	0,9812	0,9611	0,9492	0,9349
9,1014	13,5808	0,9803	0,9590	0,9463	0,9312
9,0471	13,5108	0,9794	0,9568	0,9434	0,9275
9,0321	11,5683	0,9761	0,9517	0,9376	0,9210
8,9717	14,2411	0,9755	0,9499	0,9349	0,9172
8,9714	13,3098	0,9745	0,9478	0,9321	0,9135
8,8939	13,5808	0,9736	0,9457	0,9292	0,9098
8,8587	13,2828	0,9727	0,9435	0,9264	0,9061
8,8536	14,2411	0,9720	0,9417	0,9237	0,9024
8,7182	13,3098	0,9711	0,9396	0,9209	0,8987
8,6917	14,8827	0,9705	0,9378	0,9182	0,8950
8,6463	12,6279	0,9678	0,9328	0,9121	0,8876
8,6358	11,0595	0,9646	0,9277	0,9062	0,8810
8,5678	13,2828	0,9636	0,9256	0,9034	0,8773
8,5607	11,5683	0,9603	0,9205	0,8975	0,8708
8,5024	14,6972	0,9597	0,9187	0,8949	0,8671
8,3055	11,9132	0,9564	0,9135	0,8890	0,8605
8,3011	13,2828	0,9555	0,9114	0,8862	0,8568
8,2642	11,0595	0,9522	0,9063	0,8803	0,8503
8,2570	11,9132	0,9489	0,9012	0,8744	0,8437
8,2422	14,8827	0,9483	0,8994	0,8718	0,8400
8,2146	10,3797	0,9443	0,8941	0,8661	0,8341
8,2124	12,6279	0,9416	0,8892	0,8600	0,8267
8,1672	11,0595	0,9384	0,8840	0,8541	0,8202
8,1536	10,5713	0,9343	0,8788	0,8485	0,8143
8,0861	10,5713	0,9303	0,8735	0,8428	0,8083
8,0537	13,4825	0,9294	0,8714	0,8400	0,8046
8,0463	13,4825	0,9285	0,8692	0,8371	0,8009
7,9795	13,4825	0,9275	0,8671	0,8343	0,7972
7,8283	14,6049	0,9269	0,8653	0,8316	0,7935
7,6563	12,6279	0,9242	0,8603	0,8255	0,7861
7,6082	11,0524	0,9210	0,8552	0,8196	0,7796
7,6030	10,6359	0,9169	0,8499	0,8140	0,7737
7,5950	12,1150	0,9143	0,8450	0,8078	0,7663
7,5690	12,1150	0,9116	0,8400	0,8017	0,7589
7,5464	13,5808	0,9107	0,8379	0,7988	0,7552
7,5340	10,3797	0,9067	0,8326	0,7932	0,7493
7,4479	10,3797	0,9027	0,8273	0,7875	0,7434

7,3160	13,3098	0,9017	0,8252	0,7846	0,7397
7,2132	14,8827	0,9011	0,8234	0,7820	0,7360
7,1926	12,0183	0,8985	0,8184	0,7759	0,7286
7,1654	10,6359	0,8944	0,8131	0,7702	0,7227
7,0633	14,4343	0,8938	0,8113	0,7676	0,7189
7,0503	11,8091	0,8905	0,8062	0,7617	0,7124
7,0498	11,8091	0,8872	0,8011	0,7558	0,7058
7,0237	10,5713	0,8832	0,7958	0,7502	0,6999
7,0178	10,2545	0,8792	0,7905	0,7445	0,6940
6,9048	14,4343	0,8785	0,7887	0,7419	0,6903
6,8909	13,1998	0,8776	0,7866	0,7390	0,6866
6,8843	13,5960	0,8767	0,7845	0,7362	0,6829
6,8714	10,2545	0,8727	0,7792	0,7305	0,6770
6,8603	10,6359	0,8686	0,7739	0,7248	0,6710
6,8456	9,1807	0,8619	0,7663	0,7172	0,6635
6,8404	13,5960	0,8610	0,7642	0,7143	0,6598
6,6988	13,1998	0,8600	0,7621	0,7115	0,6561
6,6910	13,5960	0,8591	0,7599	0,7086	0,6524
6,5717	9,5221	0,8523	0,7524	0,7010	0,6449
6,5515	10,5127	0,8483	0,7471	0,6953	0,6390
6,5210	12,0183	0,8457	0,7421	0,6892	0,6316
6,4978	12,0183	0,8430	0,7372	0,6831	0,6242
6,3885	11,8091	0,8397	0,7321	0,6772	0,6177
6,3474	10,6978	0,8357	0,7268	0,6715	0,6118
6,3254	8,9072	0,8246	0,7159	0,6612	0,6021
6,2902	9,3912	0,8178	0,7083	0,6535	0,5946
6,2194	11,0524	0,8145	0,7032	0,6477	0,5880
6,2153	11,0524	0,8112	0,6981	0,6418	0,5815
6,1784	14,4343	0,8106	0,6963	0,6392	0,5778
6,0576	10,6978	0,8066	0,6910	0,6335	0,5718
6,0373	13,1998	0,8056	0,6889	0,6306	0,5681
6,0212	9,5221	0,7989	0,6813	0,6230	0,5606
5,9484	12,1150	0,7962	0,6764	0,6169	0,5533
5,9406	10,5127	0,7922	0,6711	0,6112	0,5473
5,9391	9,5221	0,7855	0,6635	0,6036	0,5398
5,9035	10,5127	0,7814	0,6582	0,5979	0,5339
5,8854	9,1807	0,7747	0,6507	0,5903	0,5264
5,5426	10,2545	0,7707	0,6454	0,5846	0,5205
5,5338	9,3912	0,7639	0,6378	0,5770	0,5130
5,3123	9,3912	0,7572	0,6302	0,5693	0,5054
5,3056	7,6748	0,7432	0,6182	0,5584	0,4958
5,2826	8,9072	0,7320	0,6074	0,5481	0,4861
5,2721	9,1807	0,7253	0,5998	0,5404	0,4786
5,0966	7,7971	0,7113	0,5878	0,5295	0,4689
5,0817	6,5261	0,7020	0,5806	0,5232	0,4635
5,0428	6,4484	0,6926	0,5733	0,5170	0,4582
4,9930	8,3025	0,6814	0,5625	0,5066	0,4485
4,9929	8,9072	0,6702	0,5516	0,4962	0,4388
4,9683	10,6978	0,6662	0,5463	0,4905	0,4329
4,9450	8,3376	0,6550	0,5354	0,4801	0,4232
4,9328	7,3965	0,6411	0,5234	0,4693	0,4135
4,9061	9,0288	0,6343	0,5159	0,4616	0,4060
4,8513	7,7971	0,6204	0,5039	0,4507	0,3963
4,8483	7,6748	0,6064	0,4919	0,4398	0,3867
4,8470	9,5058	0,5997	0,4843	0,4322	0,3791
4,8437	6,6597	0,5903	0,4771	0,4259	0,3738
4,8177	6,9808	0,5809	0,4698	0,4196	0,3684
4,7902	6,6597	0,5716	0,4626	0,4133	0,3631



4,7576	7,7971	0,5576	0,4506	0,4024	0,3534
4,7192	9,0288	0,5509	0,4430	0,3948	0,3459
4,7023	6,5261	0,5415	0,4358	0,3885	0,3405
4,6002	8,6011	0,5303	0,4249	0,3781	0,3309
4,5675	9,5058	0,5236	0,4174	0,3705	0,3233
4,5555	8,3025	0,5124	0,4065	0,3601	0,3137
4,5309	6,5261	0,5030	0,3993	0,3538	0,3083
4,4930	6,9808	0,4937	0,3921	0,3476	0,3030
4,4634	6,9505	0,4843	0,3848	0,3413	0,2976
4,4630	8,3376	0,4731	0,3739	0,3309	0,2879
4,4567	6,4484	0,4637	0,3667	0,3246	0,2826
4,4025	8,3025	0,4526	0,3558	0,3142	0,2729
4,3819	7,3965	0,4386	0,3438	0,3033	0,2632
4,3443	6,9505	0,4292	0,3366	0,2970	0,2579
4,3427	9,5058	0,4225	0,3291	0,2894	0,2503
4,3381	6,9808	0,4131	0,3218	0,2831	0,2450
4,3291	7,6748	0,3992	0,3098	0,2722	0,2353
4,3178	7,6131	0,3852	0,2978	0,2613	0,2256
4,3165	7,6131	0,3713	0,2858	0,2504	0,2159
4,2900	8,6011	0,3601	0,2750	0,2400	0,2063
4,2847	8,6011	0,3489	0,2641	0,2297	0,1966
4,1482	8,3376	0,3377	0,2532	0,2193	0,1869
4,1369	6,4484	0,3284	0,2460	0,2130	0,1816
4,0911	9,0288	0,3216	0,2384	0,2054	0,1740
4,0644	7,3965	0,3077	0,2264	0,1945	0,1644
4,0535	6,6597	0,2983	0,2192	0,1882	0,1590
4,0375	6,9505	0,2889	0,2120	0,1819	0,1536
4,0179	5,7619	0,2745	0,2018	0,1734	0,1467
3,8346	5,8816	0,2601	0,1917	0,1649	0,1397
3,8171	7,6131	0,2462	0,1797	0,1540	0,1300
3,7967	5,7619	0,2318	0,1696	0,1456	0,1231
3,7011	6,0140	0,2224	0,1624	0,1393	0,1177
3,5801	5,7619	0,2080	0,1523	0,1308	0,1108
3,5498	6,0999	0,1986	0,1451	0,1245	0,1054
3,5464	6,0140	0,1892	0,1379	0,1182	0,1000
3,5425	6,0140	0,1799	0,1306	0,1120	0,0947
3,5395	5,7916	0,1655	0,1205	0,1035	0,0877
3,4641	5,8816	0,1511	0,1104	0,0950	0,0808
3,3879	5,7916	0,1366	0,1003	0,0865	0,0738
3,3687	5,6417	0,1222	0,0902	0,0780	0,0668
3,2430	6,0999	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
3,1781	5,5730	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
3,1775	5,7916	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
2,9958	6,0999	0,0747	0,0555	0,0485	0,0422
2,9542	5,8816	0,0603	0,0454	0,0400	0,0352
2,9120	5,5730	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,7320	5,6417	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,6850	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,5360	5,5730	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

**Tabela V.10 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 12$ ,  $\psi_k = 70^\circ$ )**

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,2585	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>7,0133</b>	<b>12,0183</b>	0,9974	<b>0,9950</b>	<b>0,9939</b>	<b>0,9926</b>
6,8403	11,8091	0,9941	0,9899	0,9880	0,9861
6,7866	14,9761	0,9934	0,9881	0,9854	0,9824
6,7442	13,5108	0,9925	0,9860	0,9825	0,9787
6,7378	13,4825	0,9916	0,9839	0,9796	0,9749
<b>6,7097</b>	<b>13,5108</b>	<b>0,9907</b>	0,9817	0,9768	0,9712
6,7097	13,5108	0,9897	0,9796	0,9739	0,9675
6,6960	13,4825	0,9888	0,9775	0,9711	0,9638
6,6414	13,3098	0,9879	0,9753	0,9682	0,9601
6,5787	13,1998	0,9869	0,9732	0,9654	0,9564
6,5734	12,6279	0,9843	0,9682	0,9592	0,9490
6,5534	13,1998	0,9834	0,9661	0,9564	0,9453
6,5407	14,8827	0,9827	0,9643	0,9537	0,9416
6,5001	12,6679	0,9801	0,9593	0,9476	0,9342
6,4172	12,6279	0,9774	0,9543	0,9415	0,9269
6,2663	14,8827	0,9768	0,9525	0,9388	0,9231
6,2219	11,8091	0,9735	0,9474	0,9330	0,9166
6,1675	12,6679	0,9709	0,9425	0,9268	0,9092
6,1669	11,8091	0,9676	0,9374	0,9210	0,9027
6,1601	11,5683	0,9643	0,9323	0,9151	0,8962
6,1342	14,6049	0,9637	0,9304	0,9125	0,8924
6,1338	13,5960	0,9628	0,9283	0,9096	0,8887
6,0672	11,9132	0,9595	0,9232	0,9037	0,8822
6,0669	13,2828	0,9586	0,9211	0,9009	0,8785
6,0593	10,6359	0,9545	0,9158	0,8952	0,8725
6,0464	14,9761	0,9539	0,9140	0,8926	0,8688
5,9964	8,6011	0,9427	0,9031	0,8822	0,8591
5,9502	12,0183	0,9401	0,8981	0,8761	0,8518
5,9423	11,0595	0,9368	0,8930	0,8702	0,8452
5,9274	13,5960	0,9359	0,8909	0,8673	0,8415
5,8792	14,6049	0,9352	0,8891	0,8647	0,8378
5,8675	8,6011	0,9241	0,8782	0,8543	0,8281
5,8665	14,6049	0,9234	0,8764	0,8517	0,8244
5,8588	14,9761	0,9228	0,8746	0,8490	0,8207
5,8547	12,0183	0,9202	0,8696	0,8429	0,8133
5,8533	10,2545	0,9161	0,8643	0,8372	0,8074
5,8193	9,5058	0,9094	0,8568	0,8296	0,7999
5,8040	11,5683	0,9061	0,8517	0,8237	0,7933
5,7889	12,6279	0,9035	0,8467	0,8176	0,7859
5,7753	11,9132	0,9002	0,8416	0,8117	0,7794
5,7366	10,6359	0,8961	0,8363	0,8061	0,7735
5,7361	9,5058	0,8894	0,8287	0,7984	0,7660
5,6944	9,5058	0,8826	0,8212	0,7908	0,7585
5,6728	11,0524	0,8794	0,8161	0,7849	0,7519
5,6273	11,0595	0,8761	0,8110	0,7791	0,7454
5,6214	14,8827	0,8754	0,8091	0,7764	0,7416
5,5968	8,9072	0,8643	0,7983	0,7661	0,7320
5,5602	13,2828	0,8633	0,7961	0,7632	0,7282
5,5189	13,4825	0,8624	0,7940	0,7604	0,7245
5,4961	13,5960	0,8615	0,7919	0,7575	0,7208
5,4744	14,2411	0,8609	0,7901	0,7549	0,7171

5,4666	12,1150	0,8582	0,7851	0,7487	0,7097
5,4563	11,5683	0,8549	0,7800	0,7429	0,7032
5,4386	10,2545	0,8509	0,7747	0,7372	0,6973
5,4343	11,0595	0,8476	0,7696	0,7313	0,6907
5,4300	14,6972	0,8470	0,7678	0,7287	0,6870
5,4078	14,2411	0,8464	0,7660	0,7261	0,6833
5,3539	13,5808	0,8454	0,7638	0,7232	0,6796
5,3396	13,3098	0,8445	0,7617	0,7203	0,6759
5,3323	13,2828	0,8436	0,7596	0,7175	0,6722
5,2908	14,6972	0,8429	0,7578	0,7148	0,6684
5,2723	10,2545	0,8389	0,7525	0,7092	0,6625
5,2424	13,3098	0,8380	0,7504	0,7063	0,6588
5,2343	14,6972	0,8374	0,7486	0,7037	0,6551
5,2009	13,5808	0,8364	0,7464	0,7008	0,6514
5,1804	11,9132	0,8331	0,7413	0,6950	0,6448
5,1136	14,4343	0,8325	0,7395	0,6923	0,6411
5,0884	10,6359	0,8285	0,7342	0,6867	0,6352
5,0125	14,4343	0,8279	0,7324	0,6840	0,6314
4,9294	14,2411	0,8272	0,7306	0,6814	0,6277
4,9049	11,0524	0,8239	0,7255	0,6755	0,6212
4,8891	12,1150	0,8213	0,7205	0,6694	0,6138
4,8368	14,4343	0,8207	0,7187	0,6667	0,6101
4,8290	8,6011	0,8095	0,7078	0,6564	0,6004
4,8182	13,1998	0,8086	0,7057	0,6535	0,5967
4,7508	13,5808	0,8076	0,7036	0,6506	0,5930
4,7161	8,9072	0,7965	0,6927	0,6403	0,5833
4,6695	9,0288	0,7897	0,6851	0,6326	0,5758
4,6339	12,1150	0,7871	0,6802	0,6265	0,5684
4,6336	6,5261	0,7777	0,6729	0,6202	0,5631
4,6204	8,9072	0,7665	0,6621	0,6098	0,5534
4,6018	7,6748	0,7526	0,6501	0,5989	0,5437
4,5552	11,0524	0,7493	0,6450	0,5931	0,5372
4,5369	7,6131	0,7353	0,6330	0,5822	0,5275
4,5320	10,6978	0,7313	0,6277	0,5765	0,5216
4,4737	8,3376	0,7201	0,6168	0,5661	0,5119
4,4731	10,3797	0,7161	0,6115	0,5605	0,5060
4,3771	9,1807	0,7094	0,6039	0,5528	0,4984
4,3768	10,5127	0,7053	0,5987	0,5472	0,4925
4,3528	9,1807	0,6986	0,5911	0,5395	0,4850
4,2798	10,5713	0,6946	0,5858	0,5339	0,4791
4,2641	10,6978	0,6905	0,5805	0,5282	0,4732
4,2006	10,5713	0,6865	0,5753	0,5225	0,4673
4,1637	7,7971	0,6725	0,5633	0,5116	0,4576
4,1210	9,3912	0,6658	0,5557	0,5040	0,4501
4,1195	7,6748	0,6518	0,5437	0,4931	0,4404
4,1176	9,0288	0,6451	0,5361	0,4855	0,4329
4,1137	7,6131	0,6311	0,5241	0,4746	0,4232
4,1072	9,5221	0,6244	0,5166	0,4669	0,4157
4,0934	6,5261	0,6150	0,5093	0,4607	0,4103
4,0843	10,5713	0,6110	0,5041	0,4550	0,4044
4,0819	10,5127	0,6069	0,4988	0,4493	0,3985
4,0663	9,3912	0,6002	0,4912	0,4417	0,3910
4,0457	10,5127	0,5962	0,4859	0,4360	0,3851
4,0330	10,3797	0,5921	0,4806	0,4304	0,3791
4,0329	9,0288	0,5854	0,4731	0,4227	0,3716
4,0160	9,3912	0,5786	0,4655	0,4151	0,3641
4,0070	10,6978	0,5746	0,4602	0,4094	0,3582
4,0001	7,6748	0,5606	0,4482	0,3985	0,3485

3,9761	10,3797	0,5566	0,4430	0,3929	0,3426
3,9738	9,5221	0,5499	0,4354	0,3852	0,3351
3,9363	8,3376	0,5387	0,4245	0,3749	0,3254
3,9026	7,7971	0,5247	0,4125	0,3640	0,3157
3,8992	9,1807	0,5180	0,4049	0,3563	0,3082
3,8760	7,6131	0,5040	0,3929	0,3454	0,2985
3,8646	6,0999	0,4947	0,3857	0,3391	0,2932
3,8253	6,0999	0,4853	0,3785	0,3329	0,2878
3,7743	6,5261	0,4759	0,3713	0,3266	0,2825
3,7663	6,4484	0,4666	0,3640	0,3203	0,2771
3,7662	6,4484	0,4572	0,3568	0,3140	0,2717
3,7372	7,7971	0,4432	0,3448	0,3031	0,2621
3,6576	6,6597	0,4339	0,3376	0,2968	0,2567
3,6560	6,0999	0,4245	0,3304	0,2906	0,2514
3,6526	5,8816	0,4101	0,3203	0,2821	0,2444
3,6405	6,4484	0,4007	0,3130	0,2758	0,2390
3,6368	8,3376	0,3895	0,3022	0,2654	0,2294
3,6339	6,6597	0,3802	0,2949	0,2591	0,2240
3,5811	7,3965	0,3662	0,2829	0,2482	0,2143
3,5389	8,3025	0,3550	0,2721	0,2378	0,2046
3,5228	5,7916	0,3406	0,2620	0,2294	0,1977
3,5182	5,5730	0,3262	0,2518	0,2209	0,1907
3,5171	5,5730	0,3118	0,2417	0,2124	0,1838
3,5044	6,9505	0,3025	0,2345	0,2061	0,1784
3,4982	8,3025	0,2913	0,2236	0,1957	0,1687
3,4375	5,8816	0,2769	0,2135	0,1873	0,1618
3,3735	6,9505	0,2675	0,2063	0,1810	0,1564
3,3228	6,9808	0,2581	0,1991	0,1747	0,1511
3,3209	9,5221	0,2514	0,1915	0,1671	0,1435
3,2804	6,9505	0,2420	0,1843	0,1608	0,1382
3,2724	6,6597	0,2326	0,1771	0,1545	0,1328
3,2485	5,8816	0,2182	0,1670	0,1460	0,1259
3,1696	8,3025	0,2071	0,1561	0,1356	0,1162
3,1373	7,3965	0,1931	0,1441	0,1247	0,1065
3,1164	6,0140	0,1837	0,1369	0,1185	0,1011
3,0721	6,9808	0,1744	0,1296	0,1122	0,0958
3,0502	5,7619	0,1600	0,1195	0,1037	0,0888
3,0393	6,0140	0,1506	0,1123	0,0974	0,0835
3,0284	5,7619	0,1362	0,1022	0,0889	0,0765
2,9452	6,9808	0,1268	0,0950	0,0827	0,0712
2,9032	7,3965	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
2,8342	5,7619	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
2,8168	5,7916	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
2,7443	5,6417	0,0696	0,0526	0,0463	0,0406
2,6706	5,5730	0,0552	0,0425	0,0379	0,0336
2,5988	5,7916	0,0408	0,0324	0,0294	0,0266
2,5749	6,0140	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,5561	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,5042	5,6417	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

Tabela V.11 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 12$ ,  $\psi_k = 85^\circ$ )

Coeficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,4631	14,9761	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7,4558	14,8827	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>7,4394</b>	<b>13,5108</b>	0,9984	0,9961	0,9945	<b>0,9926</b>
<b>7,3977</b>	<b>13,1998</b>	0,9975	0,9939	<b>0,9916</b>	0,9889
7,3861	14,9761	0,9969	0,9921	0,9890	0,9851
<b>7,3432</b>	<b>13,3098</b>	0,9960	<b>0,9900</b>	0,9861	0,9814
7,3348	13,5960	0,9950	0,9878	0,9833	0,9777
7,3330	13,4825	0,9941	0,9857	0,9804	0,9740
7,2326	13,5108	0,9932	0,9836	0,9776	0,9703
7,2200	13,1998	0,9922	0,9814	0,9747	0,9666
7,2195	14,9761	0,9916	0,9796	0,9721	0,9629
7,2024	14,6049	0,9910	0,9778	0,9694	0,9591
<b>7,1641</b>	<b>13,5960</b>	<b>0,9900</b>	0,9757	0,9666	0,9554
7,1617	14,6049	0,9894	0,9739	0,9639	0,9517
7,0929	13,4825	0,9885	0,9717	0,9611	0,9480
7,0684	14,8827	0,9879	0,9699	0,9584	0,9443
7,0646	14,6049	0,9872	0,9681	0,9558	0,9405
6,9168	13,5108	0,9863	0,9660	0,9529	0,9368
6,8743	13,4825	0,9854	0,9639	0,9501	0,9331
6,7563	13,2828	0,9844	0,9617	0,9472	0,9294
6,7471	13,5960	0,9835	0,9596	0,9444	0,9257
6,7458	14,2411	0,9829	0,9578	0,9417	0,9220
6,7200	14,8827	0,9822	0,9560	0,9391	0,9182
6,5790	13,3098	0,9813	0,9538	0,9362	0,9145
6,4633	14,6972	0,9807	0,9520	0,9336	0,9108
6,4359	14,6972	0,9801	0,9502	0,9310	0,9071
6,4189	14,6972	0,9794	0,9484	0,9283	0,9033
6,4185	13,2828	0,9785	0,9463	0,9255	0,8996
6,3787	14,4343	0,9779	0,9445	0,9228	0,8959
6,3457	13,2828	0,9769	0,9423	0,9200	0,8922
6,2274	14,4343	0,9763	0,9405	0,9173	0,8885
6,2264	13,5808	0,9754	0,9384	0,9145	0,8848
6,2251	13,1998	0,9744	0,9363	0,9116	0,8811
6,1951	14,4343	0,9738	0,9344	0,9090	0,8773
6,1394	11,5683	0,9705	0,9293	0,9031	0,8708
6,0755	13,5808	0,9696	0,9272	0,9002	0,8671
6,0740	14,2411	0,9690	0,9254	0,8976	0,8634
6,0224	13,3098	0,9680	0,9233	0,8947	0,8596
6,0120	11,5683	0,9648	0,9182	0,8889	0,8531
5,9958	12,6679	0,9621	0,9132	0,8828	0,8457
5,9287	11,9132	0,9588	0,9081	0,8769	0,8392
5,7214	10,3797	0,9548	0,9028	0,8712	0,8333
5,6909	11,9132	0,9515	0,8977	0,8654	0,8267
5,6852	11,9132	0,9482	0,8926	0,8595	0,8202
5,6801	13,5808	0,9473	0,8905	0,8567	0,8165
5,6147	11,8091	0,9440	0,8854	0,8508	0,8099
5,6117	12,6679	0,9414	0,8804	0,8447	0,8026
5,6103	10,5713	0,9374	0,8751	0,8390	0,7967
5,5628	10,5713	0,9333	0,8698	0,8333	0,7907
5,5443	14,2411	0,9327	0,8680	0,8307	0,7870
5,5321	12,6679	0,9301	0,8631	0,8246	0,7796
5,4519	10,3797	0,9260	0,8578	0,8189	0,7737

5,3616	11,5683	0,9227	0,8527	0,8130	0,7672
5,3208	10,5713	0,9187	0,8474	0,8074	0,7613
5,2540	10,3797	0,9147	0,8421	0,8017	0,7553
5,1686	11,8091	0,9114	0,8370	0,7958	0,7488
5,1354	12,6279	0,9088	0,8321	0,7897	0,7414
5,0767	10,6359	0,9047	0,8268	0,7840	0,7355
5,0460	8,9072	0,8936	0,8159	0,7737	0,7258
5,0342	11,8091	0,8903	0,8108	0,7678	0,7193
5,0155	10,6359	0,8863	0,8055	0,7621	0,7134
4,8877	12,6279	0,8836	0,8005	0,7560	0,7060
4,8704	10,6359	0,8796	0,7953	0,7503	0,7001
4,8377	11,0595	0,8763	0,7902	0,7445	0,6935
4,7708	12,0183	0,8737	0,7852	0,7383	0,6862
4,6794	11,0595	0,8704	0,7801	0,7325	0,6796
4,6270	9,5058	0,8636	0,7725	0,7249	0,6721
4,5820	12,0183	0,8610	0,7676	0,7187	0,6648
4,4074	12,1150	0,8583	0,7626	0,7126	0,6574
4,3562	11,0524	0,8551	0,7575	0,7067	0,6508
4,3306	8,9072	0,8439	0,7466	0,6963	0,6412
4,3004	12,6279	0,8412	0,7416	0,6902	0,6338
4,2597	10,2545	0,8372	0,7364	0,6845	0,6279
4,2592	12,0183	0,8346	0,7314	0,6784	0,6205
4,2531	11,0595	0,8313	0,7263	0,6725	0,6140
4,1864	11,0524	0,8280	0,7212	0,6667	0,6074
4,1815	9,5058	0,8213	0,7136	0,6590	0,5999
4,1795	10,5127	0,8172	0,7083	0,6534	0,5940
4,1764	8,9072	0,8061	0,6974	0,6430	0,5843
4,0172	10,2545	0,8020	0,6922	0,6373	0,5784
4,0011	9,0288	0,7953	0,6846	0,6297	0,5709
3,9949	10,6978	0,7912	0,6793	0,6240	0,5650
3,9836	9,3912	0,7845	0,6717	0,6164	0,5575
3,9285	8,6011	0,7733	0,6609	0,6060	0,5478
3,9184	10,5127	0,7693	0,6556	0,6004	0,5419
3,9157	11,0524	0,7660	0,6505	0,5945	0,5353
3,9077	12,1150	0,7634	0,6455	0,5884	0,5279
3,8860	10,2545	0,7593	0,6402	0,5827	0,5220
3,8796	9,5058	0,7526	0,6327	0,5751	0,5145
3,8759	12,1150	0,7499	0,6277	0,5689	0,5072
3,7480	9,3912	0,7432	0,6201	0,5613	0,4996
3,7340	8,6011	0,7320	0,6093	0,5509	0,4900
3,7334	10,6978	0,7280	0,6040	0,5452	0,4840
3,7245	10,5127	0,7240	0,5987	0,5396	0,4781
3,6946	7,7971	0,7100	0,5867	0,5287	0,4684
3,6563	9,5221	0,7033	0,5791	0,5211	0,4609
3,6061	9,3912	0,6965	0,5716	0,5134	0,4534
3,5907	10,6978	0,6925	0,5663	0,5078	0,4475
3,4867	9,0288	0,6857	0,5587	0,5001	0,4400
3,4705	8,6011	0,6746	0,5478	0,4897	0,4303
3,4660	7,7971	0,6606	0,5358	0,4788	0,4206
3,4551	9,0288	0,6538	0,5283	0,4712	0,4131
3,3764	9,1807	0,6471	0,5207	0,4636	0,4056
3,3643	9,5221	0,6403	0,5131	0,4559	0,3981
3,3360	8,3376	0,6292	0,5022	0,4455	0,3884
3,2506	8,3025	0,6180	0,4913	0,4352	0,3787
3,2427	8,3376	0,6068	0,4805	0,4248	0,3690
3,2169	6,9808	0,5975	0,4732	0,4185	0,3637
3,2095	8,3376	0,5863	0,4624	0,4081	0,3540
3,1874	7,7971	0,5723	0,4504	0,3972	0,3443

3,1756	6,9808	0,5630	0,4431	0,3909	0,3390
3,1464	7,6748	0,5490	0,4311	0,3800	0,3293
3,0926	8,3025	0,5378	0,4203	0,3697	0,3196
3,0884	8,3025	0,5267	0,4094	0,3593	0,3099
3,0838	9,1807	0,5199	0,4018	0,3516	0,3024
3,0714	6,9808	0,5105	0,3946	0,3454	0,2970
3,0452	6,6597	0,5012	0,3874	0,3391	0,2917
3,0106	9,1807	0,4944	0,3798	0,3314	0,2842
3,0101	5,5730	0,4800	0,3697	0,3230	0,2772
3,0092	6,5261	0,4706	0,3625	0,3167	0,2719
3,0049	6,6597	0,4613	0,3552	0,3104	0,2665
2,9859	5,6417	0,4469	0,3451	0,3019	0,2595
2,9838	7,6748	0,4329	0,3331	0,2910	0,2499
2,9831	5,5730	0,4185	0,3230	0,2825	0,2429
2,9647	7,6131	0,4046	0,3110	0,2716	0,2332
2,9367	5,5730	0,3901	0,3009	0,2632	0,2262
2,9353	7,6131	0,3762	0,2889	0,2523	0,2166
2,9265	6,5261	0,3668	0,2817	0,2460	0,2112
2,9176	5,6417	0,3524	0,2716	0,2375	0,2042
2,9082	7,6748	0,3385	0,2596	0,2266	0,1946
2,9063	5,7916	0,3240	0,2495	0,2181	0,1876
2,8918	6,0140	0,3147	0,2423	0,2118	0,1822
2,8310	6,0140	0,3053	0,2350	0,2056	0,1769
2,8277	6,6597	0,2959	0,2278	0,1993	0,1715
2,7636	6,0140	0,2866	0,2206	0,1930	0,1662
2,7531	6,0999	0,2772	0,2134	0,1867	0,1608
2,7289	5,7916	0,2628	0,2033	0,1782	0,1539
2,7119	9,5221	0,2560	0,1957	0,1706	0,1464
2,7005	6,0999	0,2467	0,1885	0,1643	0,1410
2,6989	5,7916	0,2323	0,1784	0,1558	0,1340
2,6856	5,6417	0,2179	0,1682	0,1474	0,1271
2,6756	6,5261	0,2085	0,1610	0,1411	0,1217
2,6510	7,6131	0,1945	0,1490	0,1302	0,1120
2,6229	6,0999	0,1852	0,1418	0,1239	0,1067
2,5879	5,8816	0,1708	0,1317	0,1154	0,0997
2,5509	6,9505	0,1614	0,1245	0,1091	0,0944
2,5117	6,9505	0,1520	0,1172	0,1029	0,0890
2,5091	5,7619	0,1376	0,1071	0,0944	0,0821
2,4555	7,3965	0,1237	0,0951	0,0835	0,0724
2,4490	6,9505	0,1143	0,0879	0,0772	0,0670
2,4317	5,8816	0,0999	0,0778	0,0687	0,0600
2,4100	6,4484	0,0905	0,0706	0,0624	0,0547
2,3855	7,3965	0,0765	0,0586	0,0515	0,0450
2,3667	7,3965	0,0626	0,0466	0,0406	0,0353
2,3413	5,8816	0,0482	0,0365	0,0322	0,0284
2,3216	5,7619	0,0338	0,0264	0,0237	0,0214
2,3089	5,7619	0,0194	0,0163	0,0152	0,0144
2,2614	6,4484	0,0100	0,0090	0,0089	0,0091
2,1488	6,4484	0,0006	0,0018	0,0026	0,0037

Tabela V.12 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 8$ ,  $\psi_k = 30^\circ$ )

Coefficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
12,8501	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
12,6456	14,6972	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>12,5214</b>	<b>14,8827</b>	0,9987	0,9964	0,9947	<b>0,9925</b>
<b>12,3890</b>	<b>14,9761</b>	0,9981	0,9946	<b>0,9921</b>	0,9888
12,3493	13,5108	0,9972	0,9924	0,9892	0,9851
<b>12,3178</b>	<b>13,5108</b>	0,9962	<b>0,9903</b>	0,9864	0,9814
12,2232	14,6049	0,9956	0,9885	0,9837	0,9777
12,0628	14,8827	0,9950	0,9867	0,9811	0,9739
12,0337	14,2411	0,9943	0,9849	0,9784	0,9702
12,0079	13,5108	0,9934	0,9827	0,9756	0,9665
11,7956	14,2411	0,9928	0,9809	0,9729	0,9628
11,7222	14,2411	0,9922	0,9791	0,9703	0,9590
<b>11,6804</b>	<b>13,2828</b>	<b>0,9912</b>	0,9770	0,9674	0,9553
11,6526	11,9132	0,9879	0,9719	0,9616	0,9488
11,6516	11,9132	0,9847	0,9668	0,9557	0,9422
11,6093	13,3098	0,9837	0,9646	0,9529	0,9385
11,6073	14,9761	0,9831	0,9628	0,9502	0,9348
11,5254	14,6049	0,9825	0,9610	0,9476	0,9311
11,4467	14,9761	0,9818	0,9592	0,9449	0,9274
11,4393	14,6972	0,9812	0,9574	0,9423	0,9236
11,4367	13,3098	0,9803	0,9553	0,9394	0,9199
11,3862	12,6679	0,9776	0,9503	0,9333	0,9126
11,1732	13,4825	0,9767	0,9482	0,9304	0,9088
11,1466	12,6679	0,9741	0,9432	0,9243	0,9015
11,0752	11,9132	0,9708	0,9381	0,9185	0,8949
10,9757	11,0524	0,9675	0,9330	0,9126	0,8884
10,8841	13,2828	0,9666	0,9309	0,9097	0,8847
10,8645	10,6978	0,9625	0,9256	0,9041	0,8788
10,6656	12,115	0,9599	0,9206	0,8979	0,8714
10,6563	13,4825	0,9590	0,9185	0,8951	0,8677
10,5757	12,115	0,9563	0,9135	0,8889	0,8603
10,5511	10,5713	0,9523	0,9082	0,8833	0,8544
10,5490	11,0524	0,9490	0,9031	0,8774	0,8479
10,4646	13,596	0,9481	0,9010	0,8746	0,8442
10,4228	12,6279	0,9454	0,8960	0,8684	0,8368
10,3699	11,5683	0,9422	0,8909	0,8626	0,8302
10,3598	10,2545	0,9381	0,8856	0,8569	0,8243
10,3192	10,6978	0,9341	0,8804	0,8512	0,8184
10,3162	10,2545	0,9301	0,8751	0,8456	0,8125
10,3055	13,5808	0,9292	0,8730	0,8427	0,8088
10,2889	14,6972	0,9285	0,8712	0,8401	0,8051
10,2237	13,2828	0,9276	0,8690	0,8372	0,8014
10,1772	14,6049	0,9270	0,8672	0,8346	0,7976
10,1235	13,3098	0,9260	0,8651	0,8317	0,7939
10,0747	11,5683	0,9228	0,8600	0,8259	0,7874
10,0506	14,8827	0,9221	0,8582	0,8232	0,7836
10,0379	12,0183	0,9195	0,8532	0,8171	0,7763
10,0092	11,8091	0,9162	0,8481	0,8112	0,7697
9,9921	13,4825	0,9153	0,8460	0,8084	0,7660
9,9801	10,5713	0,9112	0,8407	0,8027	0,7601
9,9589	14,4343	0,9106	0,8389	0,8001	0,7564
9,9149	14,4343	0,9100	0,8371	0,7974	0,7527



9,7697	11,0524	0,9067	0,8319	0,7916	0,7461
9,6860	10,6978	0,9027	0,8267	0,7859	0,7402
9,6170	12,6279	0,9000	0,8217	0,7798	0,7328
9,6099	12,115	0,8974	0,8167	0,7736	0,7255
9,5889	13,596	0,8964	0,8146	0,7708	0,7218
9,5815	11,8091	0,8932	0,8095	0,7649	0,7152
9,5413	10,6359	0,8891	0,8042	0,7593	0,7093
9,4520	13,1998	0,8882	0,8021	0,7564	0,7056
9,3469	14,4343	0,8876	0,8003	0,7538	0,7019
9,3256	12,6279	0,8849	0,7953	0,7476	0,6945
9,3010	12,0183	0,8823	0,7903	0,7415	0,6871
9,2595	9,5221	0,8755	0,7828	0,7338	0,6796
9,1962	11,5683	0,8723	0,7777	0,7280	0,6731
9,1461	13,1998	0,8713	0,7755	0,7251	0,6694
9,0920	9,5221	0,8646	0,7680	0,7175	0,6618
9,0812	13,596	0,8636	0,7658	0,7146	0,6581
9,0445	11,0595	0,8604	0,7607	0,7088	0,6516
9,0350	13,5808	0,8594	0,7586	0,7059	0,6479
8,9689	13,1998	0,8585	0,7565	0,7031	0,6442
8,8839	11,0595	0,8552	0,7514	0,6972	0,6376
8,5385	10,5713	0,8512	0,7461	0,6915	0,6317
8,4618	13,5808	0,8503	0,7439	0,6887	0,6280
8,4388	9,5221	0,8435	0,7364	0,6811	0,6205
8,4377	11,0595	0,8402	0,7313	0,6752	0,6139
8,3982	10,2545	0,8362	0,7260	0,6695	0,6080
8,2771	9,1807	0,8295	0,7184	0,6619	0,6005
8,2629	12,0183	0,8268	0,7135	0,6558	0,5932
8,2121	8,9072	0,8156	0,7026	0,6454	0,5835
8,1328	11,8091	0,8124	0,6975	0,6395	0,5769
8,0779	9,3912	0,8056	0,6899	0,6319	0,5694
7,9434	10,6359	0,8016	0,6846	0,6262	0,5635
7,9425	9,1807	0,7948	0,6770	0,6186	0,5560
7,7048	10,6359	0,7908	0,6718	0,6129	0,5501
7,6524	8,3376	0,7796	0,6609	0,6025	0,5404
7,6140	10,5127	0,7756	0,6556	0,5969	0,5345
7,5439	10,3797	0,7716	0,6503	0,5912	0,5285
7,4070	9,3912	0,7648	0,6428	0,5836	0,5210
7,3261	10,5127	0,7608	0,6375	0,5779	0,5151
7,3220	9,0288	0,7540	0,6299	0,5703	0,5076
7,3088	8,6011	0,7429	0,6190	0,5599	0,4979
7,1655	8,3376	0,7317	0,6081	0,5495	0,4882
7,1377	10,3797	0,7277	0,6029	0,5439	0,4823
7,1083	8,9072	0,7165	0,5920	0,5335	0,4726
7,0892	8,6011	0,7053	0,5811	0,5231	0,4630
7,0819	8,3025	0,6942	0,5702	0,5127	0,4533
7,0164	10,3797	0,6901	0,5649	0,5070	0,4474
6,6773	8,6011	0,6790	0,5541	0,4967	0,4377
6,4882	8,3376	0,6678	0,5432	0,4863	0,4280
6,3984	9,1807	0,6610	0,5356	0,4786	0,4205
6,3285	8,9072	0,6499	0,5247	0,4683	0,4108
6,1695	9,0288	0,6431	0,5172	0,4606	0,4033
6,0454	9,3912	0,6364	0,5096	0,4530	0,3958
5,9682	7,6131	0,6224	0,4976	0,4421	0,3861
5,9501	10,5127	0,6184	0,4923	0,4364	0,3802
5,8272	7,6131	0,6044	0,4803	0,4255	0,3705
5,7115	9,0288	0,5977	0,4727	0,4179	0,3630
5,6905	7,7971	0,5837	0,4607	0,4070	0,3533
5,5577	8,3025	0,5725	0,4499	0,3966	0,3436

5,5423	9,5058	0,5658	0,4423	0,3890	0,3361
5,4030	6,9808	0,5564	0,4351	0,3827	0,3308
5,3999	7,7971	0,5425	0,4231	0,3718	0,3211
5,3809	7,3965	0,5285	0,4111	0,3609	0,3114
5,3149	7,3965	0,5146	0,3991	0,3500	0,3017
5,1812	7,7971	0,5006	0,3871	0,3391	0,2920
5,1127	8,3025	0,4894	0,3762	0,3287	0,2823
5,0260	9,5058	0,4827	0,3686	0,3211	0,2748
4,9488	6,9505	0,4733	0,3614	0,3148	0,2695
4,9458	7,3965	0,4594	0,3494	0,3039	0,2598
4,8399	7,6131	0,4454	0,3374	0,2930	0,2501
4,7280	9,5058	0,4386	0,3298	0,2854	0,2426
4,6584	6,9808	0,4293	0,3226	0,2791	0,2372
4,5270	6,6597	0,4199	0,3154	0,2728	0,2319
4,4978	6,9505	0,4105	0,3082	0,2665	0,2265
4,3355	6,5261	0,4012	0,3010	0,2602	0,2212
4,3101	6,5261	0,3918	0,2937	0,2540	0,2158
4,2642	5,8816	0,3774	0,2836	0,2455	0,2089
4,2547	7,6748	0,3634	0,2716	0,2346	0,1992
4,2001	6,4484	0,3541	0,2644	0,2283	0,1938
4,1614	6,5261	0,3447	0,2572	0,2220	0,1885
4,1607	7,6748	0,3307	0,2452	0,2111	0,1788
4,1294	6,9505	0,3214	0,2380	0,2048	0,1734
4,0587	5,7916	0,3070	0,2278	0,1964	0,1665
3,9233	6,0999	0,2976	0,2206	0,1901	0,1611
3,8853	6,4484	0,2882	0,2134	0,1838	0,1558
3,8841	6,0999	0,2789	0,2062	0,1775	0,1504
3,8766	7,6748	0,2649	0,1942	0,1666	0,1407
3,8484	6,9808	0,2555	0,1870	0,1603	0,1354
3,8256	6,0999	0,2462	0,1797	0,1540	0,1300
3,7961	5,6417	0,2318	0,1696	0,1456	0,1231
3,7253	6,014	0,2224	0,1624	0,1393	0,1177
3,6929	5,8816	0,2080	0,1523	0,1308	0,1108
3,6787	5,6417	0,1936	0,1422	0,1223	0,1038
3,6601	6,014	0,1842	0,1350	0,1160	0,0984
3,6568	5,6417	0,1698	0,1249	0,1076	0,0915
3,6515	5,8816	0,1554	0,1147	0,0991	0,0845
3,6202	5,7619	0,1410	0,1046	0,0906	0,0775
3,6141	5,7916	0,1266	0,0945	0,0821	0,0706
3,6126	5,7916	0,1122	0,0844	0,0737	0,0636
3,5893	6,4484	0,1028	0,0772	0,0674	0,0583
3,5889	5,7619	0,0884	0,0671	0,0589	0,0513
3,5482	6,6597	0,0790	0,0599	0,0526	0,0459
3,4672	6,014	0,0696	0,0526	0,0463	0,0406
3,4614	6,6597	0,0603	0,0454	0,0400	0,0352
3,3424	5,7619	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,7141	5,573	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,6466	5,573	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,3854	5,573	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

Tabela V.13 – Distribuição acumulada dos coeficientes de *flicker* ( $R_{sc} = 8$ ,  $\psi_k = 50^\circ$ )

Coeficientes de <i>flicker</i> ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
11,1961	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10,1623	14,9761	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>10,1128</b>	<b>14,6049</b>	0,9987	0,9964	<b>0,9947</b>	<b>0,9925</b>
<b>9,8935</b>	<b>12,6679</b>	0,9961	<b>0,9914</b>	0,9886	0,9852
9,8399	13,5108	0,9952	0,9893	0,9857	0,9815
9,7664	14,6972	0,9945	0,9875	0,9831	0,9777
9,6487	14,6049	0,9939	0,9857	0,9804	0,9740
9,5004	14,9761	0,9933	0,9839	0,9778	0,9703
9,4846	12,6679	0,9906	0,9789	0,9717	0,9629
<b>9,4842</b>	<b>14,2411</b>	<b>0,9900</b>	0,9771	0,9690	0,9592
9,4587	11,9132	0,9867	0,9720	0,9632	0,9526
9,4092	14,6972	0,9861	0,9702	0,9605	0,9489
9,3651	14,9761	0,9854	0,9683	0,9579	0,9452
9,2453	11,5683	0,9822	0,9632	0,9520	0,9386
9,2266	13,5108	0,9812	0,9611	0,9492	0,9349
9,0926	11,5683	0,9779	0,9560	0,9433	0,9284
9,0859	13,5108	0,9770	0,9539	0,9404	0,9247
9,0523	14,2411	0,9764	0,9521	0,9378	0,9210
9,0106	13,5808	0,9755	0,9499	0,9349	0,9172
9,0035	13,3098	0,9745	0,9478	0,9321	0,9135
8,9263	13,5808	0,9736	0,9457	0,9292	0,9098
8,8705	14,2411	0,9730	0,9439	0,9266	0,9061
8,8434	13,2828	0,9720	0,9417	0,9237	0,9024
8,8390	13,3098	0,9711	0,9396	0,9209	0,8987
8,6599	14,8827	0,9705	0,9378	0,9182	0,8950
8,6098	12,6279	0,9678	0,9328	0,9121	0,8876
8,5570	11,0595	0,9646	0,9277	0,9062	0,8810
8,4942	14,6972	0,9639	0,9259	0,9036	0,8773
8,4800	13,2828	0,9630	0,9238	0,9007	0,8736
8,4548	11,5683	0,9597	0,9187	0,8949	0,8671
8,2818	11,9132	0,9564	0,9135	0,8890	0,8605
8,2779	14,8827	0,9558	0,9117	0,8864	0,8568
8,2721	13,2828	0,9549	0,9096	0,8835	0,8531
8,2436	11,0595	0,9516	0,9045	0,8777	0,8465
8,2246	11,0595	0,9483	0,8994	0,8718	0,8400
8,2075	11,9132	0,9450	0,8943	0,8659	0,8335
8,1709	12,6279	0,9424	0,8893	0,8598	0,8261
8,1697	10,3797	0,9384	0,8840	0,8541	0,8202
8,1393	10,5713	0,9343	0,8788	0,8485	0,8143
8,1180	13,4825	0,9334	0,8766	0,8456	0,8105
8,1008	13,4825	0,9325	0,8745	0,8428	0,8068
8,0564	10,5713	0,9285	0,8692	0,8371	0,8009
7,9150	14,6049	0,9278	0,8674	0,8345	0,7972
7,8834	13,4825	0,9269	0,8653	0,8316	0,7935
7,7161	12,6279	0,9242	0,8603	0,8255	0,7861
7,6475	11,0524	0,9210	0,8552	0,8196	0,7796
7,6402	13,5808	0,9200	0,8531	0,8168	0,7759
7,5906	12,1150	0,9174	0,8481	0,8106	0,7685
7,5678	12,1150	0,9147	0,8431	0,8045	0,7611
7,5199	10,6359	0,9107	0,8379	0,7988	0,7552
7,4377	10,3797	0,9067	0,8326	0,7932	0,7493
7,3928	10,3797	0,9027	0,8273	0,7875	0,7434

7,2872	14,8827	0,9020	0,8255	0,7849	0,7397
7,2501	13,3098	0,9011	0,8234	0,7820	0,7360
7,1696	10,6359	0,8971	0,8181	0,7763	0,7300
7,1531	12,0183	0,8944	0,8131	0,7702	0,7227
7,1357	11,8091	0,8911	0,8080	0,7643	0,7161
7,1153	14,4343	0,8905	0,8062	0,7617	0,7124
7,0479	10,2545	0,8865	0,8009	0,7560	0,7065
7,0324	10,5713	0,8825	0,7956	0,7504	0,7006
6,9454	13,5960	0,8815	0,7935	0,7475	0,6969
6,9382	14,4343	0,8809	0,7917	0,7449	0,6931
6,9377	10,2545	0,8769	0,7864	0,7392	0,6872
6,9320	11,8091	0,8736	0,7813	0,7334	0,6807
6,9268	13,5960	0,8727	0,7792	0,7305	0,6770
6,8558	13,1998	0,8717	0,7771	0,7276	0,6732
6,8513	9,1807	0,8650	0,7695	0,7200	0,6657
6,7985	10,6359	0,8610	0,7642	0,7143	0,6598
6,7087	13,1998	0,8600	0,7621	0,7115	0,6561
6,6599	13,5960	0,8591	0,7599	0,7086	0,6524
6,5990	9,5221	0,8523	0,7524	0,7010	0,6449
6,5713	12,0183	0,8497	0,7474	0,6949	0,6375
6,5604	10,5127	0,8457	0,7421	0,6892	0,6316
6,4290	11,8091	0,8424	0,7370	0,6833	0,6251
6,4266	12,0183	0,8397	0,7321	0,6772	0,6177
6,4115	8,9072	0,8286	0,7212	0,6668	0,6080
6,2984	10,6978	0,8246	0,7159	0,6612	0,6021
6,2900	11,0524	0,8213	0,7108	0,6553	0,5956
6,2587	9,3912	0,8145	0,7032	0,6477	0,5880
6,1748	11,0524	0,8112	0,6981	0,6418	0,5815
6,1563	14,4343	0,8106	0,6963	0,6392	0,5778
6,0918	10,6978	0,8066	0,6910	0,6335	0,5718
6,0790	13,1998	0,8056	0,6889	0,6306	0,5681
5,9634	10,5127	0,8016	0,6836	0,6250	0,5622
5,9535	9,5221	0,7949	0,6760	0,6173	0,5547
5,9528	9,5221	0,7881	0,6685	0,6097	0,5472
5,9404	10,5127	0,7841	0,6632	0,6040	0,5413
5,9262	9,1807	0,7773	0,6556	0,5964	0,5338
5,8628	12,1150	0,7747	0,6507	0,5903	0,5264
5,5836	9,3912	0,7679	0,6431	0,5826	0,5189
5,4942	10,2545	0,7639	0,6378	0,5770	0,5130
5,3404	9,3912	0,7572	0,6302	0,5693	0,5054
5,3344	9,1807	0,7504	0,6227	0,5617	0,4979
5,3088	8,9072	0,7392	0,6118	0,5513	0,4883
5,2396	7,6748	0,7253	0,5998	0,5404	0,4786
5,1604	6,5261	0,7159	0,5926	0,5341	0,4732
5,0613	6,4484	0,7065	0,5853	0,5279	0,4679
5,0167	10,6978	0,7025	0,5801	0,5222	0,4619
5,0045	7,7971	0,6886	0,5681	0,5113	0,4523
4,9770	8,3376	0,6774	0,5572	0,5009	0,4426
4,9461	8,9072	0,6662	0,5463	0,4905	0,4329
4,9368	8,3025	0,6550	0,5354	0,4801	0,4232
4,9058	7,3965	0,6411	0,5234	0,4693	0,4135
4,8569	6,6597	0,6317	0,5162	0,4630	0,4082
4,8486	9,0288	0,6250	0,5086	0,4553	0,4007
4,8335	7,7971	0,6110	0,4966	0,4444	0,3910
4,8117	9,5058	0,6043	0,4891	0,4368	0,3835
4,7806	6,9808	0,5949	0,4818	0,4305	0,3781
4,7730	7,6748	0,5809	0,4698	0,4196	0,3684
4,7674	6,6597	0,5716	0,4626	0,4133	0,3631

4,7425	7,7971	0,5576	0,4506	0,4024	0,3534
4,6963	9,0288	0,5509	0,4430	0,3948	0,3459
4,6735	6,5261	0,5415	0,4358	0,3885	0,3405
4,6043	9,5058	0,5347	0,4283	0,3809	0,3330
4,5850	8,6011	0,5236	0,4174	0,3705	0,3233
4,5552	8,3025	0,5124	0,4065	0,3601	0,3137
4,5447	6,5261	0,5030	0,3993	0,3538	0,3083
4,4811	8,3376	0,4919	0,3884	0,3435	0,2986
4,4442	6,4484	0,4825	0,3812	0,3372	0,2933
4,4423	6,9808	0,4731	0,3739	0,3309	0,2879
4,4260	6,9505	0,4637	0,3667	0,3246	0,2826
4,3958	8,3025	0,4526	0,3558	0,3142	0,2729
4,3886	7,6131	0,4386	0,3438	0,3033	0,2632
4,3834	7,6131	0,4247	0,3318	0,2924	0,2535
4,3799	9,5058	0,4179	0,3243	0,2848	0,2460
4,3574	8,6011	0,4067	0,3134	0,2744	0,2363
4,3461	6,9505	0,3974	0,3062	0,2681	0,2310
4,3445	7,6748	0,3834	0,2942	0,2572	0,2213
4,3424	8,6011	0,3722	0,2833	0,2468	0,2116
4,3306	7,3965	0,3583	0,2713	0,2359	0,2019
4,3115	6,9808	0,3489	0,2641	0,2297	0,1966
4,1886	8,3376	0,3377	0,2532	0,2193	0,1869
4,1288	6,4484	0,3284	0,2460	0,2130	0,1816
4,1200	9,0288	0,3216	0,2384	0,2054	0,1740
4,0524	6,6597	0,3123	0,2312	0,1991	0,1687
4,0469	7,3965	0,2983	0,2192	0,1882	0,1590
4,0309	6,9505	0,2889	0,2120	0,1819	0,1536
3,9718	5,7619	0,2745	0,2018	0,1734	0,1467
3,8310	5,7619	0,2601	0,1917	0,1649	0,1397
3,8041	7,6131	0,2462	0,1797	0,1540	0,1300
3,7974	5,8816	0,2318	0,1696	0,1456	0,1231
3,6936	6,0140	0,2224	0,1624	0,1393	0,1177
3,5934	5,7619	0,2080	0,1523	0,1308	0,1108
3,5762	5,7916	0,1936	0,1422	0,1223	0,1038
3,5669	6,0140	0,1842	0,1350	0,1160	0,0984
3,5508	6,0140	0,1748	0,1277	0,1098	0,0931
3,5382	6,0999	0,1655	0,1205	0,1035	0,0877
3,4720	5,8816	0,1511	0,1104	0,0950	0,0808
3,4079	5,6417	0,1366	0,1003	0,0865	0,0738
3,3822	5,7916	0,1222	0,0902	0,0780	0,0668
3,2790	6,0999	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
3,2151	5,7916	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
3,1766	5,5730	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
3,0247	6,0999	0,0747	0,0555	0,0485	0,0422
2,9793	5,8816	0,0603	0,0454	0,0400	0,0352
2,9138	5,5730	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,7011	5,6417	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,6788	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,5227	5,5730	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074

**Tabela V.14 – Distribuição acumulada dos coeficientes de flicker ( $R_{sc} = 8$ ,  $\psi_k = 70^\circ$ )**

Coefficientes de flicker ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,2008	12,6679	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
<b>7,0236</b>	<b>12,0183</b>	0,9974	0,9950	0,9939	<b>0,9926</b>
<b>6,8717</b>	<b>14,9761</b>	0,9967	<b>0,9932</b>	<b>0,9912</b>	0,9889
6,7726	11,8091	0,9934	0,9881	0,9854	0,9824
6,7554	13,5108	0,9925	0,9860	0,9825	0,9787
6,7554	13,5108	0,9916	0,9839	0,9796	0,9749
<b>6,7554</b>	<b>13,5108</b>	<b>0,9907</b>	0,9817	0,9768	0,9712
6,7413	13,4825	0,9897	0,9796	0,9739	0,9675
6,7413	13,4825	0,9888	0,9775	0,9711	0,9638
6,6549	13,3098	0,9879	0,9753	0,9682	0,9601
6,5999	13,1998	0,9869	0,9732	0,9654	0,9564
6,5999	13,1998	0,9860	0,9711	0,9625	0,9527
6,5696	12,6679	0,9834	0,9661	0,9564	0,9453
6,5263	12,6279	0,9807	0,9611	0,9502	0,9380
6,5160	14,8827	0,9801	0,9593	0,9476	0,9342
6,5099	12,6279	0,9774	0,9543	0,9415	0,9269
6,2577	14,8827	0,9768	0,9525	0,9388	0,9231
6,2191	11,5683	0,9735	0,9474	0,9330	0,9166
6,1943	11,8091	0,9703	0,9423	0,9271	0,9101
6,1539	14,6049	0,9696	0,9405	0,9245	0,9063
6,1024	12,6679	0,9670	0,9355	0,9183	0,8990
6,0972	11,8091	0,9637	0,9304	0,9125	0,8924
6,0836	11,9132	0,9604	0,9253	0,9066	0,8859
6,0761	13,5960	0,9595	0,9232	0,9037	0,8822
6,0407	13,2828	0,9586	0,9211	0,9009	0,8785
6,0077	14,9761	0,9579	0,9193	0,8982	0,8747
5,9891	13,5960	0,9570	0,9171	0,8954	0,8710
5,9720	8,6011	0,9458	0,9062	0,8850	0,8613
5,9713	10,6359	0,9418	0,9010	0,8793	0,8554
5,9369	8,6011	0,9306	0,8901	0,8690	0,8457
5,9139	12,0183	0,9280	0,8851	0,8628	0,8384
5,9011	14,6049	0,9274	0,8833	0,8602	0,8347
5,8921	11,0595	0,9241	0,8782	0,8543	0,8281
5,8751	10,2545	0,9200	0,8729	0,8487	0,8222
5,8547	14,9761	0,9194	0,8711	0,8460	0,8185
5,8540	12,0183	0,9168	0,8662	0,8399	0,8111
5,8332	9,5058	0,9100	0,8586	0,8322	0,8036
5,8304	14,6049	0,9094	0,8568	0,8296	0,7999
5,8134	11,5683	0,9061	0,8517	0,8237	0,7933
5,7537	12,6279	0,9035	0,8467	0,8176	0,7859
5,7459	11,9132	0,9002	0,8416	0,8117	0,7794
5,7164	10,6359	0,8961	0,8363	0,8061	0,7735
5,6887	9,5058	0,8894	0,8287	0,7984	0,7660
5,6794	11,0524	0,8861	0,8236	0,7926	0,7594
5,6434	9,5058	0,8794	0,8161	0,7849	0,7519
5,6163	14,8827	0,8787	0,8143	0,7823	0,7482
5,5805	8,9072	0,8676	0,8034	0,7719	0,7385
5,5576	13,2828	0,8666	0,8012	0,7691	0,7348
5,5568	11,0595	0,8633	0,7961	0,7632	0,7282
5,5346	13,5960	0,8624	0,7940	0,7604	0,7245
5,4856	14,2411	0,8618	0,7922	0,7577	0,7208
5,4779	11,0595	0,8585	0,7871	0,7519	0,7143

5,4590	14,6972	0,8579	0,7853	0,7492	0,7105
5,4495	12,1150	0,8552	0,7803	0,7431	0,7032
5,4422	14,2411	0,8546	0,7785	0,7404	0,6994
5,4336	10,2545	0,8506	0,7732	0,7348	0,6935
5,4330	13,4825	0,8496	0,7711	0,7319	0,6898
5,3760	13,2828	0,8487	0,7690	0,7291	0,6861
5,3745	11,5683	0,8454	0,7638	0,7232	0,6796
5,3664	14,6972	0,8448	0,7620	0,7206	0,6758
5,3542	13,3098	0,8439	0,7599	0,7177	0,6721
5,2927	13,5808	0,8429	0,7578	0,7148	0,6684
5,2411	10,2545	0,8389	0,7525	0,7092	0,6625
5,2244	13,3098	0,8380	0,7504	0,7063	0,6588
5,2081	13,5808	0,8371	0,7482	0,7035	0,6551
5,2002	14,6972	0,8364	0,7464	0,7008	0,6514
5,1457	11,9132	0,8331	0,7413	0,6950	0,6448
5,0831	10,6359	0,8291	0,7360	0,6893	0,6389
5,0521	14,4343	0,8285	0,7342	0,6867	0,6352
5,0218	14,4343	0,8279	0,7324	0,6840	0,6314
4,9712	14,2411	0,8272	0,7306	0,6814	0,6277
4,9105	14,4343	0,8266	0,7288	0,6787	0,6240
4,9010	11,0524	0,8233	0,7237	0,6729	0,6174
4,8772	8,6011	0,8121	0,7128	0,6625	0,6078
4,8513	12,1150	0,8095	0,7078	0,6564	0,6004
4,8177	13,1998	0,8086	0,7057	0,6535	0,5967
4,7956	13,5808	0,8076	0,7036	0,6506	0,5930
4,7404	9,0288	0,8009	0,6960	0,6430	0,5855
4,7374	8,9072	0,7897	0,6851	0,6326	0,5758
4,6426	6,5261	0,7803	0,6779	0,6263	0,5704
4,6199	7,6748	0,7664	0,6659	0,6154	0,5608
4,6145	8,9072	0,7552	0,6550	0,6051	0,5511
4,6074	12,1150	0,7526	0,6501	0,5989	0,5437
4,5701	10,6978	0,7485	0,6448	0,5933	0,5378
4,5586	11,0524	0,7453	0,6397	0,5874	0,5312
4,4981	7,6131	0,7313	0,6277	0,5765	0,5216
4,4797	8,3376	0,7201	0,6168	0,5661	0,5119
4,4431	10,3797	0,7161	0,6115	0,5605	0,5060
4,3976	10,5127	0,7121	0,6062	0,5548	0,5000
4,3623	9,1807	0,7053	0,5987	0,5472	0,4925
4,3252	9,1807	0,6986	0,5911	0,5395	0,4850
4,2735	10,6978	0,6946	0,5858	0,5339	0,4791
4,2685	10,5713	0,6905	0,5805	0,5282	0,4732
4,2198	7,7971	0,6766	0,5685	0,5173	0,4635
4,1557	10,5713	0,6725	0,5633	0,5116	0,4576
4,1379	9,0288	0,6658	0,5557	0,5040	0,4501
4,1099	7,6131	0,6518	0,5437	0,4931	0,4404
4,1038	9,5221	0,6451	0,5361	0,4855	0,4329
4,1006	10,3797	0,6411	0,5308	0,4798	0,4270
4,0969	10,5713	0,6370	0,5256	0,4742	0,4210
4,0938	9,3912	0,6303	0,5180	0,4665	0,4135
4,0800	10,5127	0,6262	0,5127	0,4609	0,4076
4,0782	7,6748	0,6123	0,5007	0,4500	0,3979
4,0752	6,5261	0,6029	0,4935	0,4437	0,3926
4,0669	9,0288	0,5962	0,4859	0,4360	0,3851
4,0592	9,3912	0,5894	0,4784	0,4284	0,3775
4,0511	10,5127	0,5854	0,4731	0,4227	0,3716
4,0252	9,5221	0,5786	0,4655	0,4151	0,3641
4,0046	10,6978	0,5746	0,4602	0,4094	0,3582
3,9876	9,3912	0,5679	0,4527	0,4018	0,3507

3,9729	7,6748	0,5539	0,4407	0,3909	0,3410
3,9415	10,3797	0,5499	0,4354	0,3852	0,3351
3,9088	7,7971	0,5359	0,4234	0,3743	0,3254
3,9079	8,3376	0,5247	0,4125	0,3640	0,3157
3,8849	6,0999	0,5154	0,4053	0,3577	0,3104
3,8745	9,1807	0,5086	0,3977	0,3500	0,3028
3,8573	7,6131	0,4947	0,3857	0,3391	0,2932
3,8466	6,0999	0,4853	0,3785	0,3329	0,2878
3,7606	6,5261	0,4759	0,3713	0,3266	0,2825
3,7407	6,4484	0,4666	0,3640	0,3203	0,2771
3,7385	6,4484	0,4572	0,3568	0,3140	0,2717
3,6854	6,6597	0,4478	0,3496	0,3077	0,2664
3,6741	7,7971	0,4339	0,3376	0,2968	0,2567
3,6595	6,6597	0,4245	0,3304	0,2906	0,2514
3,6455	5,8816	0,4101	0,3203	0,2821	0,2444
3,6273	6,0999	0,4007	0,3130	0,2758	0,2390
3,6258	6,4484	0,3913	0,3058	0,2695	0,2337
3,6138	8,3376	0,3802	0,2949	0,2591	0,2240
3,5879	7,3965	0,3662	0,2829	0,2482	0,2143
3,5740	5,5730	0,3518	0,2728	0,2398	0,2074
3,5424	5,7916	0,3374	0,2627	0,2313	0,2004
3,5356	8,3025	0,3262	0,2518	0,2209	0,1907
3,5221	6,9505	0,3169	0,2446	0,2146	0,1854
3,5138	5,5730	0,3025	0,2345	0,2061	0,1784
3,4981	8,3025	0,2913	0,2236	0,1957	0,1687
3,4435	5,8816	0,2769	0,2135	0,1873	0,1618
3,3452	6,9505	0,2675	0,2063	0,1810	0,1564
3,3340	9,5221	0,2608	0,1987	0,1734	0,1489
3,3044	6,9808	0,2514	0,1915	0,1671	0,1435
3,2912	6,9505	0,2420	0,1843	0,1608	0,1382
3,2850	6,6597	0,2326	0,1771	0,1545	0,1328
3,2849	5,8816	0,2182	0,1670	0,1460	0,1259
3,1462	8,3025	0,2071	0,1561	0,1356	0,1162
3,1343	7,3965	0,1931	0,1441	0,1247	0,1065
3,1333	6,0140	0,1837	0,1369	0,1185	0,1011
3,0405	6,9808	0,1744	0,1296	0,1122	0,0958
3,0343	5,7619	0,1600	0,1195	0,1037	0,0888
3,0235	6,0140	0,1506	0,1123	0,0974	0,0835
2,9818	6,9808	0,1412	0,1051	0,0911	0,0781
2,9777	5,7619	0,1268	0,0950	0,0827	0,0712
2,9007	7,3965	0,1129	0,0830	0,0718	0,0615
2,8191	5,7619	0,0985	0,0729	0,0633	0,0545
2,8148	5,7916	0,0841	0,0627	0,0548	0,0475
2,7315	5,6417	0,0696	0,0526	0,0463	0,0406
2,6690	5,5730	0,0552	0,0425	0,0379	0,0336
2,6171	6,0140	0,0459	0,0353	0,0316	0,0283
2,6012	5,7916	0,0315	0,0252	0,0231	0,0213
2,5569	5,6417	0,0171	0,0151	0,0146	0,0143
2,4978	5,6417	0,0026	0,0050	0,0061	0,0074



Tabela V.15 – Distribuição acumulada dos coeficientes de *flicker* ( $R_{sc} = 8$ ,  $\psi_k = 85^\circ$ )

Coeficientes de <i>flicker</i> ordenados $c(\psi_k, v_a)$	Velocidade média de vento correspondente (m/s)	$P_r(c < x)$ $v_a = 6 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 7,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 8,5 \text{ m/s}$	$P_r(c < x)$ $v_a = 10 \text{ m/s}$
7,5868	14,9761	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7,5426	14,8827	0,9994	0,9982	0,9974	0,9963
<b>7,4851</b>	<b>13,5108</b>	0,9984	0,9961	0,9945	<b>0,9926</b>
<b>7,4217</b>	<b>14,9761</b>	0,9978	0,9942	<b>0,9919</b>	0,9888
7,4080	13,1998	0,9969	0,9921	0,9890	0,9851
<b>7,3668</b>	<b>13,3098</b>	0,9960	<b>0,9900</b>	0,9861	0,9814
7,3412	14,6049	0,9953	0,9882	0,9835	0,9777
7,2900	13,1998	0,9944	0,9860	0,9807	0,9740
7,2857	13,4825	0,9935	0,9839	0,9778	0,9703
7,2773	13,5960	0,9925	0,9818	0,9749	0,9666
7,2392	13,5108	0,9916	0,9796	0,9721	0,9629
7,2386	13,5960	0,9907	0,9775	0,9692	0,9592
<b>7,2274</b>	<b>14,9761</b>	<b>0,9900</b>	0,9757	0,9666	0,9554
7,2144	14,6049	0,9894	0,9739	0,9639	0,9517
7,1988	13,4825	0,9885	0,9717	0,9611	0,9480
7,1591	14,6049	0,9879	0,9699	0,9584	0,9443
7,1232	14,8827	0,9872	0,9681	0,9558	0,9405
7,0103	13,4825	0,9863	0,9660	0,9529	0,9368
6,9439	13,5108	0,9854	0,9639	0,9501	0,9331
6,8108	13,2828	0,9844	0,9617	0,9472	0,9294
6,7409	14,8827	0,9838	0,9599	0,9446	0,9257
6,7269	13,5960	0,9829	0,9578	0,9417	0,9220
6,7155	14,2411	0,9822	0,9560	0,9391	0,9182
6,5658	14,6972	0,9816	0,9542	0,9365	0,9145
6,5259	14,6972	0,9810	0,9524	0,9338	0,9108
6,5216	13,2828	0,9801	0,9502	0,9310	0,9071
6,5190	13,3098	0,9791	0,9481	0,9281	0,9034
6,4739	14,6972	0,9785	0,9463	0,9255	0,8996
6,3898	13,2828	0,9776	0,9441	0,9226	0,8959
6,3412	14,4343	0,9769	0,9423	0,9200	0,8922
6,3174	13,5808	0,9760	0,9402	0,9171	0,8885
6,3151	14,4343	0,9754	0,9384	0,9145	0,8848
6,2002	11,5683	0,9721	0,9333	0,9086	0,8782
6,1684	13,1998	0,9712	0,9312	0,9057	0,8745
6,1606	14,4343	0,9705	0,9293	0,9031	0,8708
6,0529	14,2411	0,9699	0,9275	0,9005	0,8671
6,0514	13,3098	0,9690	0,9254	0,8976	0,8634
6,0398	11,5683	0,9657	0,9203	0,8917	0,8568
6,0357	13,5808	0,9648	0,9182	0,8889	0,8531
5,9464	12,6679	0,9621	0,9132	0,8828	0,8457
5,8804	11,9132	0,9588	0,9081	0,8769	0,8392
5,7438	10,3797	0,9548	0,9028	0,8712	0,8333
5,7115	13,5808	0,9539	0,9007	0,8684	0,8296
5,6671	11,9132	0,9506	0,8956	0,8625	0,8230
5,6658	10,5713	0,9466	0,8903	0,8569	0,8171
5,6615	11,9132	0,9433	0,8852	0,8510	0,8106
5,6560	11,8091	0,9400	0,8801	0,8451	0,8040
5,6444	12,6679	0,9374	0,8751	0,8390	0,7967
5,5410	14,2411	0,9367	0,8733	0,8364	0,7929
5,5161	12,6679	0,9341	0,8683	0,8302	0,7856
5,5115	10,5713	0,9301	0,8631	0,8246	0,7796
5,4914	10,3797	0,9260	0,8578	0,8189	0,7737

5,3326	10,5713	0,9220	0,8525	0,8132	0,7678
5,3285	11,5683	0,9187	0,8474	0,8074	0,7613
5,2667	10,3797	0,9147	0,8421	0,8017	0,7553
5,1696	11,8091	0,9114	0,8370	0,7958	0,7488
5,1390	12,6279	0,9088	0,8321	0,7897	0,7414
5,1348	11,8091	0,9055	0,8269	0,7839	0,7349
5,0945	10,6359	0,9015	0,8217	0,7782	0,7290
5,0775	8,9072	0,8903	0,8108	0,7678	0,7193
5,0326	10,6359	0,8863	0,8055	0,7621	0,7134
4,9545	12,6279	0,8836	0,8005	0,7560	0,7060
4,9531	10,6359	0,8796	0,7953	0,7503	0,7001
4,9144	11,0595	0,8763	0,7902	0,7445	0,6935
4,8102	12,0183	0,8737	0,7852	0,7383	0,6862
4,7652	11,0595	0,8704	0,7801	0,7325	0,6796
4,6233	9,5058	0,8636	0,7725	0,7249	0,6721
4,5898	12,0183	0,8610	0,7676	0,7187	0,6648
4,3730	8,9072	0,8498	0,7567	0,7083	0,6551
4,3720	12,1150	0,8472	0,7517	0,7022	0,6477
4,3690	12,6279	0,8445	0,7467	0,6961	0,6403
4,3246	11,0524	0,8412	0,7416	0,6902	0,6338
4,3209	11,0595	0,8380	0,7365	0,6843	0,6273
4,2435	12,0183	0,8353	0,7316	0,6782	0,6199
4,2347	11,0524	0,8320	0,7265	0,6723	0,6133
4,2297	10,2545	0,8280	0,7212	0,6667	0,6074
4,2251	10,5127	0,8240	0,7159	0,6610	0,6015
4,2224	8,9072	0,8128	0,7050	0,6506	0,5918
4,1487	9,5058	0,8061	0,6974	0,6430	0,5843
4,0614	10,2545	0,8020	0,6922	0,6373	0,5784
4,0272	9,0288	0,7953	0,6846	0,6297	0,5709
3,9904	9,3912	0,7885	0,6770	0,6221	0,5634
3,9692	12,1150	0,7859	0,6721	0,6159	0,5560
3,9689	11,0524	0,7826	0,6670	0,6101	0,5495
3,9577	10,6978	0,7786	0,6617	0,6044	0,5435
3,9144	8,6011	0,7674	0,6508	0,5940	0,5339
3,8958	12,1150	0,7648	0,6458	0,5879	0,5265
3,8908	10,5127	0,7607	0,6406	0,5822	0,5206
3,8773	9,5058	0,7540	0,6330	0,5746	0,5131
3,8740	10,2545	0,7499	0,6277	0,5689	0,5072
3,7872	10,6978	0,7459	0,6224	0,5633	0,5012
3,7327	9,3912	0,7392	0,6149	0,5556	0,4937
3,7277	8,6011	0,7280	0,6040	0,5452	0,4840
3,7054	7,7971	0,7140	0,5920	0,5343	0,4744
3,6891	10,5127	0,7100	0,5867	0,5287	0,4684
3,6622	9,5221	0,7033	0,5791	0,5211	0,4609
3,6224	9,3912	0,6965	0,5716	0,5134	0,4534
3,6033	10,6978	0,6925	0,5663	0,5078	0,4475
3,5273	9,0288	0,6857	0,5587	0,5001	0,4400
3,5095	9,0288	0,6790	0,5511	0,4925	0,4325
3,4588	8,6011	0,6678	0,5403	0,4821	0,4228
3,4385	7,7971	0,6538	0,5283	0,4712	0,4131
3,3680	9,5221	0,6471	0,5207	0,4636	0,4056
3,3653	8,3376	0,6359	0,5098	0,4532	0,3959
3,3636	9,1807	0,6292	0,5022	0,4455	0,3884
3,3082	8,3376	0,6180	0,4913	0,4352	0,3787
3,2702	8,3025	0,6068	0,4805	0,4248	0,3690
3,2361	6,9808	0,5975	0,4732	0,4185	0,3637
3,2224	6,9808	0,5881	0,4660	0,4122	0,3583
3,2200	7,7971	0,5741	0,4540	0,4013	0,3486

3,1850	8,3376	0,5630	0,4431	0,3909	0,3390
3,1657	7,6748	0,5490	0,4311	0,3800	0,3293
3,1464	9,1807	0,5423	0,4236	0,3724	0,3218
3,1149	8,3025	0,5311	0,4127	0,3620	0,3121
3,0791	6,6597	0,5217	0,4055	0,3557	0,3067
3,0763	8,3025	0,5105	0,3946	0,3454	0,2970
3,0513	6,9808	0,5012	0,3874	0,3391	0,2917
3,0476	6,5261	0,4918	0,3801	0,3328	0,2863
3,0356	5,5730	0,4774	0,3700	0,3243	0,2794
3,0321	9,1807	0,4706	0,3625	0,3167	0,2719
3,0299	7,6748	0,4567	0,3505	0,3058	0,2622
3,0114	7,6131	0,4427	0,3385	0,2949	0,2525
2,9979	5,6417	0,4283	0,3284	0,2864	0,2455
2,9962	6,6597	0,4190	0,3211	0,2801	0,2402
2,9951	5,5730	0,4046	0,3110	0,2716	0,2332
2,9563	5,6417	0,3901	0,3009	0,2632	0,2262
2,9432	7,6131	0,3762	0,2889	0,2523	0,2166
2,9367	5,5730	0,3618	0,2788	0,2438	0,2096
2,9189	6,5261	0,3524	0,2716	0,2375	0,2042
2,9155	7,6748	0,3385	0,2596	0,2266	0,1946
2,8985	6,0140	0,3291	0,2524	0,2203	0,1892
2,8821	5,7916	0,3147	0,2423	0,2118	0,1822
2,8458	6,0140	0,3053	0,2350	0,2056	0,1769
2,8139	6,6597	0,2959	0,2278	0,1993	0,1715
2,8033	6,0999	0,2866	0,2206	0,1930	0,1662
2,7770	6,0140	0,2772	0,2134	0,1867	0,1608
2,7517	5,7916	0,2628	0,2033	0,1782	0,1539
2,7231	5,7916	0,2484	0,1931	0,1698	0,1469
2,7203	9,5221	0,2416	0,1856	0,1621	0,1394
2,7054	5,6417	0,2272	0,1755	0,1536	0,1324
2,6925	6,0999	0,2179	0,1682	0,1474	0,1271
2,6530	6,5261	0,2085	0,1610	0,1411	0,1217
2,6441	7,6131	0,1945	0,1490	0,1302	0,1120
2,6258	6,0999	0,1852	0,1418	0,1239	0,1067
2,6154	5,8816	0,1708	0,1317	0,1154	0,0997
2,6006	6,9505	0,1614	0,1245	0,1091	0,0944
2,5455	5,7619	0,1470	0,1144	0,1007	0,0874
2,5089	6,9505	0,1376	0,1071	0,0944	0,0821
2,4913	7,3965	0,1237	0,0951	0,0835	0,0724
2,4618	5,8816	0,1092	0,0850	0,0750	0,0654
2,4319	6,9505	0,0999	0,0778	0,0687	0,0600
2,4177	7,3965	0,0859	0,0658	0,0578	0,0504
2,4042	7,3965	0,0720	0,0538	0,0469	0,0407
2,3981	6,4484	0,0626	0,0466	0,0406	0,0353
2,3392	5,7619	0,0482	0,0365	0,0322	0,0284
2,3253	5,8816	0,0338	0,0264	0,0237	0,0214
2,3034	5,7619	0,0194	0,0163	0,0152	0,0144
2,2696	6,4484	0,0100	0,0090	0,0089	0,0091
2,1646	6,4484	0,0006	0,0018	0,0026	0,0037

## Anexo VI. Operação de Comutação: Factores de flicker, $k_f(\psi_k)$ , de variação de tensão, $k_u(\psi_k)$ , obtidos

- Tipo de Operação de Comutação: arranque à velocidade inicial;

**VI.1 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 1-  $R_{sc} = 24$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,475	0,737	0,503	0,423	0,654	0,459	0,332	0,514	0,355	0,354	0,549	0,380
0,270	0,291	0,724	0,244	0,262	0,651	0,191	0,201	0,510	0,204	0,216	0,547
0,594	0,251	0,412	0,532	0,228	0,367	0,418	0,176	0,289	0,445	0,189	0,308
0,518	0,367	0,191	0,462	0,331	0,174	0,360	0,259	0,134	0,387	0,276	0,145
0,406	0,693	0,448	0,365	0,617	0,401	0,283	0,480	0,311	0,306	0,514	0,334
0,270	0,289	0,722	0,244	0,258	0,648	0,190	0,203	0,508	0,204	0,215	0,542
1,474	0,251	0,405	1,328	0,226	0,361	1,034	0,177	0,281	1,103	0,188	0,304
0,512	0,368	0,192	0,463	0,332	0,174	0,359	0,257	0,135	0,383	0,275	0,143
0,376	0,677	0,416	0,335	0,607	0,375	0,261	0,469	0,288	0,280	0,504	0,309
0,272	0,288	0,716	0,242	0,257	0,646	0,189	0,201	0,507	0,203	0,215	0,541

**VI.2 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 2-  $R_{sc} = 12$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,473	0,734	0,509	0,426	0,659	0,456	0,332	0,515	0,354	0,355	0,551	0,381
0,272	0,290	0,723	0,243	0,262	0,652	0,191	0,204	0,510	0,203	0,218	0,543
0,596	0,254	0,409	0,539	0,229	0,367	0,418	0,177	0,287	0,447	0,190	0,308
0,516	0,367	0,191	0,461	0,334	0,173	0,361	0,257	0,135	0,387	0,278	0,143
0,409	0,695	0,445	0,368	0,624	0,400	0,286	0,480	0,314	0,306	0,517	0,336
0,273	0,286	0,723	0,246	0,258	0,651	0,191	0,201	0,502	0,205	0,215	0,538
1,472	0,251	0,401	1,332	0,227	0,364	1,031	0,175	0,280	1,110	0,188	0,301
0,512	0,367	0,192	0,460	0,332	0,173	0,361	0,260	0,135	0,385	0,276	0,145
0,372	0,677	0,411	0,334	0,609	0,374	0,260	0,475	0,291	0,281	0,505	0,311
0,272	0,288	0,723	0,245	0,259	0,654	0,190	0,202	0,505	0,203	0,216	0,544

**VI.3 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 3-  $R_{sc} = 8$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,474	0,727	0,507	0,424	0,654	0,455	0,331	0,513	0,356	0,353	0,547	0,377
0,271	0,291	0,722	0,244	0,260	0,652	0,190	0,203	0,512	0,205	0,216	0,547
0,592	0,254	0,407	0,539	0,226	0,368	0,419	0,176	0,289	0,447	0,189	0,309
0,517	0,371	0,192	0,465	0,331	0,172	0,359	0,259	0,134	0,383	0,275	0,144
0,406	0,685	0,448	0,366	0,623	0,403	0,283	0,481	0,313	0,306	0,518	0,336
0,272	0,286	0,725	0,246	0,257	0,653	0,189	0,202	0,505	0,204	0,215	0,543
1,468	0,251	0,401	1,335	0,226	0,360	1,030	0,177	0,283	1,103	0,190	0,302
0,515	0,367	0,192	0,463	0,333	0,173	0,357	0,259	0,135	0,384	0,278	0,145
0,373	0,676	0,417	0,339	0,605	0,372	0,261	0,470	0,290	0,279	0,503	0,313
0,273	0,289	0,722	0,244	0,259	0,648	0,189	0,201	0,504	0,204	0,216	0,541

**VI.4 – Valores de  $k_u$  ( $\psi_k$ ) para Cenário 1-  $R_{sc} = 24$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,197	0,199	0,197	0,175	0,179	0,176	0,167	0,166	0,165	0,166	0,169	0,169
0,184	0,186	0,184	0,163	0,166	0,163	0,154	0,155	0,154	0,155	0,158	0,156
0,524	0,524	0,526	0,464	0,468	0,468	0,437	0,439	0,439	0,447	0,447	0,448
0,863	0,862	0,864	0,768	0,769	0,767	0,719	0,720	0,720	0,732	0,732	0,734
0,568	0,566	0,566	0,504	0,504	0,503	0,474	0,472	0,472	0,482	0,480	0,481
0,530	0,529	0,529	0,470	0,471	0,472	0,442	0,442	0,442	0,451	0,451	0,451
0,431	0,430	0,428	0,384	0,381	0,380	0,359	0,360	0,359	0,366	0,365	0,364
0,304	0,302	0,303	0,271	0,268	0,268	0,253	0,253	0,253	0,258	0,256	0,258
0,627	0,629	0,626	0,559	0,560	0,558	0,523	0,526	0,523	0,532	0,535	0,533
0,799	0,799	0,799	0,710	0,711	0,712	0,668	0,666	0,668	0,679	0,679	0,678

**VI.5 – Valores de  $k_u$  ( $\psi_k$ ) para Cenário 2-  $R_{sc} = 12$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,200	0,198	0,199	0,180	0,177	0,178	0,170	0,169	0,170	0,175	0,172	0,174
0,183	0,184	0,185	0,167	0,165	0,166	0,155	0,156	0,158	0,159	0,161	0,163
0,524	0,525	0,526	0,471	0,471	0,471	0,446	0,448	0,448	0,459	0,460	0,461
0,860	0,862	0,862	0,776	0,778	0,775	0,731	0,734	0,733	0,754	0,754	0,754
0,566	0,567	0,568	0,509	0,509	0,510	0,482	0,483	0,484	0,495	0,497	0,497
0,529	0,528	0,528	0,475	0,477	0,473	0,450	0,449	0,448	0,462	0,461	0,462
0,429	0,430	0,432	0,385	0,387	0,390	0,367	0,363	0,368	0,374	0,375	0,380
0,303	0,304	0,303	0,272	0,274	0,270	0,258	0,258	0,258	0,264	0,266	0,266
0,628	0,628	0,628	0,563	0,563	0,565	0,533	0,534	0,532	0,550	0,551	0,548
0,800	0,800	0,798	0,718	0,721	0,718	0,680	0,681	0,679	0,699	0,702	0,699

**VI.6 – Valores de  $k_u$  ( $\psi_k$ ) para Cenário 3-  $R_{sc} = 8$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,202	0,202	0,201	0,184	0,185	0,186	0,173	0,173	0,174	0,179	0,180	0,177
0,188	0,188	0,188	0,174	0,173	0,172	0,162	0,161	0,162	0,165	0,167	0,165
0,533	0,533	0,533	0,490	0,491	0,491	0,458	0,457	0,458	0,471	0,471	0,471
0,876	0,875	0,875	0,807	0,804	0,804	0,753	0,752	0,752	0,776	0,774	0,774
0,576	0,576	0,576	0,529	0,528	0,530	0,495	0,495	0,496	0,509	0,509	0,512
0,536	0,536	0,536	0,494	0,491	0,492	0,460	0,461	0,461	0,474	0,472	0,474
0,437	0,437	0,437	0,402	0,402	0,402	0,377	0,377	0,376	0,386	0,386	0,389
0,308	0,308	0,308	0,285	0,285	0,283	0,267	0,266	0,266	0,274	0,273	0,271
0,637	0,637	0,637	0,587	0,585	0,586	0,546	0,545	0,548	0,565	0,564	0,564
0,811	0,811	0,811	0,746	0,745	0,747	0,697	0,697	0,697	0,719	0,718	0,718

- Tipo de Operação de Comutação: arranque à velocidade nominal;

**VI.7 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 1-  $R_{sc} = 24$** 

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1,123	1,754	1,212	1,008	1,566	1,088	0,901	1,390	0,969	0,959	1,480	1,033
0,651	0,691	1,731	0,179	0,190	0,475	0,521	0,554	1,389	0,550	0,583	1,478
1,425	0,602	0,983	0,390	0,165	0,269	1,128	0,485	0,783	1,198	0,513	0,831
1,234	0,881	0,456	0,338	0,242	0,126	0,987	0,700	0,368	1,039	0,744	0,388
0,964	1,645	1,072	0,267	0,454	0,294	0,772	1,323	0,851	0,830	1,395	0,907
0,647	0,684	1,717	0,178	0,191	0,473	0,516	0,551	1,385	0,554	0,588	1,454
3,523	0,606	0,955	0,967	0,166	0,265	2,806	0,478	0,764	3,006	0,514	0,816
1,220	0,887	0,460	0,337	0,244	0,127	0,977	0,701	0,368	1,034	0,752	0,392
0,898	1,619	0,982	0,245	0,444	0,270	0,709	1,282	0,789	0,758	1,361	0,839
0,649	0,688	1,711	0,177	0,190	0,475	0,520	0,550	1,386	0,547	0,583	1,456

**VI.8 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 2-  $R_{sc} = 12$** 

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1,128	1,750	1,205	1,018	1,581	1,083	0,908	1,388	0,963	0,959	1,492	1,022
0,655	0,687	1,743	0,179	0,191	0,476	0,519	0,554	1,377	0,552	0,588	1,471
1,427	0,604	0,974	0,393	0,165	0,268	1,130	0,483	0,778	1,201	0,513	0,827
1,235	0,879	0,455	0,339	0,244	0,127	0,984	0,704	0,367	1,046	0,748	0,388
0,968	1,651	1,068	0,266	0,454	0,292	0,781	1,323	0,852	0,827	1,396	0,907
0,650	0,685	1,709	0,180	0,190	0,474	0,523	0,554	1,378	0,550	0,584	1,464
3,522	0,605	0,959	0,970	0,165	0,266	2,823	0,482	0,769	3,002	0,514	0,814
1,215	0,886	0,457	0,337	0,244	0,127	0,972	0,704	0,368	1,040	0,748	0,389
0,896	1,620	0,985	0,246	0,443	0,271	0,709	1,291	0,794	0,758	1,366	0,845
0,643	0,688	1,733	0,179	0,188	0,478	0,518	0,546	1,382	0,548	0,586	1,472

**VI.9 – Valores de  $k_f(\psi_k)$  para Cenário 3-  $R_{sc} = 8$** 

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1,134	1,752	1,207	1,020	1,581	1,088	0,908	1,404	0,963	0,953	1,487	1,023
0,654	0,689	1,734	0,180	0,191	0,480	0,523	0,555	1,383	0,553	0,588	1,471
1,416	0,604	0,974	0,392	0,167	0,271	1,130	0,481	0,787	1,210	0,509	0,832
1,225	0,878	0,455	0,337	0,242	0,126	0,988	0,707	0,368	1,038	0,747	0,390
0,965	1,647	1,063	0,267	0,454	0,292	0,777	1,318	0,856	0,823	1,403	0,903
0,648	0,690	1,727	0,180	0,190	0,473	0,517	0,554	1,383	0,550	0,587	1,457
3,550	0,602	0,956	0,966	0,165	0,263	2,804	0,479	0,769	3,017	0,509	0,816
1,218	0,882	0,458	0,335	0,241	0,126	0,973	0,703	0,366	1,045	0,751	0,389
0,898	1,606	0,988	0,247	0,442	0,271	0,709	1,285	0,791	0,753	1,366	0,834
0,647	0,691	1,729	0,177	0,190	0,474	0,514	0,547	1,381	0,551	0,583	1,460

**VI.10 – Valores de  $k_u(\psi_k)$  para Cenário 1-  $R_{sc} = 24$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,410	0,408	0,407	0,365	0,363	0,362	0,342	0,340	0,341	0,349	0,346	0,346
0,379	0,382	0,383	0,338	0,338	0,343	0,317	0,319	0,320	0,323	0,324	0,326
1,085	1,084	1,084	0,965	0,966	0,966	0,906	0,903	0,906	0,922	0,921	0,921
1,779	1,777	1,779	1,585	1,581	1,582	1,485	1,486	1,483	1,511	1,509	1,513
1,171	1,169	1,169	1,042	1,040	1,042	0,978	0,976	0,975	0,994	0,993	0,992
1,090	1,087	1,089	0,970	0,968	0,971	0,911	0,908	0,908	0,927	0,923	0,926
0,885	0,889	0,888	0,786	0,792	0,790	0,740	0,743	0,744	0,753	0,756	0,755
0,625	0,627	0,625	0,557	0,558	0,556	0,522	0,523	0,522	0,530	0,532	0,530
1,295	1,294	1,292	1,150	1,150	1,150	1,080	1,080	1,077	1,102	1,101	1,100
1,648	1,647	1,646	1,468	1,467	1,464	1,376	1,376	1,373	1,400	1,401	1,399

**VI.11 – Valores de  $k_u(\psi_k)$  para Cenário 2-  $R_{sc} = 12$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,409	0,408	0,411	0,367	0,368	0,370	0,349	0,347	0,348	0,359	0,357	0,360
0,380	0,382	0,384	0,341	0,343	0,346	0,324	0,325	0,327	0,330	0,334	0,336
1,083	1,082	1,081	0,975	0,976	0,974	0,920	0,920	0,919	0,950	0,948	0,946
1,780	1,779	1,779	1,602	1,602	1,602	1,511	1,512	1,514	1,556	1,557	1,556
1,171	1,170	1,170	1,053	1,052	1,052	0,994	0,993	0,992	1,025	1,022	1,023
1,088	1,090	1,087	0,981	0,981	0,976	0,925	0,926	0,924	0,952	0,955	0,950
0,886	0,888	0,888	0,797	0,801	0,800	0,755	0,754	0,753	0,776	0,776	0,777
0,624	0,627	0,625	0,560	0,564	0,565	0,530	0,532	0,532	0,545	0,549	0,548
1,294	1,293	1,294	1,166	1,163	1,167	1,101	1,100	1,100	1,133	1,132	1,131
1,645	1,649	1,647	1,480	1,486	1,482	1,399	1,402	1,401	1,441	1,442	1,442

**VI.12 – Valores de  $k_u(\psi_k)$  para Cenário 3-  $R_{sc} = 8$**

$\psi_k = 30^\circ$			$\psi_k = 50^\circ$			$\psi_k = 70^\circ$			$\psi_k = 85^\circ$		
Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
0,416	0,416	0,415	0,384	0,382	0,382	0,360	0,355	0,358	0,369	0,368	0,369
0,387	0,387	0,387	0,358	0,355	0,357	0,332	0,333	0,333	0,341	0,343	0,341
1,099	1,100	1,099	1,012	1,012	1,011	0,945	0,947	0,948	0,971	0,976	0,975
1,806	1,805	1,805	1,661	1,661	1,660	1,555	1,552	1,553	1,598	1,599	1,599
1,189	1,188	1,188	1,093	1,093	1,093	1,022	1,022	1,023	1,051	1,051	1,052
1,105	1,105	1,105	1,017	1,015	1,015	0,950	0,950	0,951	0,980	0,978	0,979
0,900	0,901	0,902	0,828	0,830	0,828	0,774	0,776	0,777	0,798	0,799	0,796
0,636	0,636	0,636	0,585	0,586	0,586	0,547	0,547	0,545	0,565	0,563	0,561
1,314	1,313	1,313	1,208	1,209	1,207	1,131	1,131	1,128	1,162	1,162	1,163
1,672	1,673	1,673	1,539	1,541	1,540	1,438	1,439	1,438	1,481	1,479	1,481